

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2001年 5月 7日

出 願 番 号
Application Number:

特願2001-135678

[ST.10/C]:

[JP2001-135678]

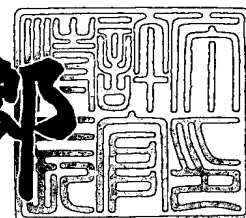
出 願 人
Applicant(s):

富士通株式会社

2002年12月17日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2002-3099357

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Hiroshi NAGAEDA

Application No.: Unassigned

Group Art Unit: Unassigned

Filed: November 7, 2003

Examiner: Unassigned

For: FARADAY ROTATOR

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPIES OF PRIOR FOREIGN
APPLICATIONS IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant submits herewith are certified copies of the following foreign applications:

Japanese Patent Application No. 2001-135678
Filed: May 7, 2001

and

Japanese Patent Application No. 2002-054093
Filed: February 28, 2002

It is respectfully requested that the applicant be given the benefit of the foreign filing dates as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,
STAAS & HALSEY LLP

Date: November 7, 2003

By: 

William F. Herbert
Registration No. 31,024

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501

【書類名】 特許願

【整理番号】 0150570

【提出日】 平成13年 5月 7日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H04B 10/17

【発明の名称】 可変ファラデー回転子、光可変減衰器、光シャッタ及び
光可変等化器

【請求項の数】 5

【発明者】

【住所又は居所】 北海道札幌市北区北七条西四丁目 3 番地 1 富士通北海道
道ディジタル・テクノロジー株式会社内

【氏名】 長枝 浩

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100072590

【弁理士】

【氏名又は名称】 井桁 貞一

【電話番号】 044-754-2462

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011280

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704486

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 可変ファラデー回転子、光可変減衰器、光シャッタ及び光可変等化器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ファラデー回転子を構成する磁気光学結晶に印加する第一の磁界によりファラデー回転を行ない、第二の磁界によりファラデー回転角の制御を行ない、

該磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸の間に該第二の磁界の方向を設ける

ことを特徴とする可変ファラデー回転子。

【請求項 2】 請求項 1 記載の可変ファラデー回転子において、

定電圧源によって該ファラデー回転子の回転角を制御する上記第二の磁界を生成する電磁石のコイルに電流を供給することを特徴とする可変ファラデー回転子。

【請求項 3】 請求項 2 記載の可変ファラデー回転子を、

複屈折結晶から成る偏光子と該複屈折結晶から成る検光子の間に挿入して光を透過させる

ことを特徴とする光可変減衰器。

【請求項 4】 請求項 3 記載の光可変減衰器を構成する上記電磁石のコイルに供給する電流を、該光可変減衰器の減衰量を最小にする電流値と該光可変減衰器の減衰量を最大にする電流値との間でスイッチすることを特徴とする光シャッタ。

【請求項 5】 偏光分離素子によって入力光を常光と異常光とに分離し、

偏光面一致制御素子によって偏光分離された 2 条の光の偏光を一致させ、

第一のファラデー回転子によって偏光を一致させた 2 条の光の偏光角に所定のファラデー回転を与え、

透過率波長特性可変素子によって該ファラデー回転に対応する透過率の波長特性を与え、

第二のファラデー回転子において該第一のファラデー回転子によって与えられ

た偏光角のファラデー回転とは逆で絶対値が等しい偏光角のファラデー回転を与え、

該透過率波長特性可変素子において生ずる P 偏光と S 偏光の位相差を位相差制御素子によって補償し、

偏光面復帰素子によって常光と異常光を合成する
光可変等化器において、

該第一のファラデー回転子および該第二のファラデー回転子に請求項 2 記載の可変ファラデー回転子を適用することを特徴とする光可変等化器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、広く光機能デバイスに適用される可変ファラデー回転子と該可変ファラデー回転子を適用する光可変減衰器、光シャッタ及び光可変等化器に係り、特に、ファラデー回転角の温度特性が良好な可変ファラデー回転子と該可変ファラデー回転子を適用する結果温度特性が良好な光可変減衰器、光シャッタ及び光可変等化器に関する。

【0002】

光ファイバ通信方式が実用化されてから久しいが、この間、電気信号を光信号に変換する電気-光変換素子、なかんずく、レーザ・ダイオードの高速化と、光ファイバ自体の広帯域化が進められ、伝送速度 10Gb/s（ギガ・ビット/秒：ギガは 10^9 を意味する単位である。）の光ファイバ通信方式が国内外で実用化されている。そして、一時は、10Gb/s の光ファイバ通信方式を中心とする光ファイバ・ネットワークによって、十分な伝送容量のデジタル・ネットワークが敷設されたと考え得る状況に近づいていた。

【0003】

しかし、音声、データ及び画像を一括して扱うマルチメディア通信の普及、なかんずく、コンピュータ・ネットワークによりマルチメディア通信を行なうインターネットの急激ともいえる普及に遭遇して、一転してデジタル・ネットワークを構成する光ファイバ通信方式の伝送容量を即座に増やす必要に迫られるように

なった。

【 0 0 0 4 】

光ファイバ通信方式の伝送容量を増やすには、新規に光ファイバ・ネットワークを敷設すればよいが、そのためにはスペース、物、金、人及びエネルギーというベーシック・リソースと時間が必要になり、インターネットの急速な普及に即応することは到底困難である。

【 0 0 0 5 】

このような状況に鑑み、既設の光ファイバ・ネットワークを使用し、基本的には既に実用化されている電気・光変換技術及び光・電気変換技術を適用して、光ファイバ通信方式の伝送容量を大幅に増やすことができる波長分割多重光通信方式が再び注目を浴びるようになった。

【 0 0 0 6 】

一方、1980年代中頃までは、光ファイバ通信方式における中継方式は光信号を電気変換して伝送データを再生、増幅して光信号に再変換するという方式であった。この方式は、電気雑音に強い筈の光ファイバ通信方式において電気雑音を混入させる原因ともなりかねないので、長い間、光信号のまま増幅、中継できる増幅方式の実現が望まれていた。

【 0 0 0 7 】

そして、1980年代の中頃に、稀土類元素のイオンを添加した低損失光ファイバと、光ファイバに添加されている稀土類元素イオンを励起するための高出力レーザ・ダイオードが実現されると、急速に稀土類元素添加光ファイバを用いた光ファイバ増幅器の実用化が進められるようになり、今や、光ファイバ通信方式における出力増幅器及び中継器には光ファイバ増幅器が使用されるようになっている。

【 0 0 0 8 】

さて、光ファイバ増幅器の増幅可能な帯域は広い。従って、波長数が多数の波長分割多重光ファイバ通信方式においても光ファイバ増幅器を適用することが可能である。このため、光ファイバ増幅器に関する開発は一層活発に行なわれるようになっている。

【 0 0 0 9 】

さて、光ファイバ増幅器を構成する増幅ファイバのコアに添加される稀土類元素の典型的な例はエルビウムである。エルビウム添加光ファイバ増幅器の増幅メカニズムの詳細は省略するが、エルビウム添加光ファイバ増幅器は増幅可能な入力光信号の波長の範囲が広いのが特徴である。逆に、増幅可能な波長の範囲が広いために、エルビウム添加光ファイバ増幅器の利得は波長特性を持っている。このため、エルビウム添加光ファイバ増幅器を使用する時には利得の波長特性を等化する必要がある。しかも、該波長特性は励起レーザ・ダイオードのパワーや入力光信号のレベルなどによって変わるので、これらを条件に応じて等化することが可能な光可変等化器が必要である。

【 0 0 1 0 】

このほか、光ファイバ通信方式においてはレベル・ダイアグラムを適正に設定するために光信号のレベルを可変に制御する光可変減衰器が重要なデバイスであり、又、光ファイバ通信方式における光パワーが大きくなっている中でコネクタ外れなどによる人体への損傷を防止するために光シャッタが広く使用されている。

【 0 0 1 1 】

光可変減衰器、光シャッタ及び光可変等化器などの光機能デバイスにおいては、透過光の偏光面を磁界によって回転（この回転をファラデー回転、回転角をファラデー回転角という。）させる性質を有する磁気光学結晶を使用した可変ファラデー回転子が組み込まれており、ファラデー回転角によって実質的に光の透過率を制御している。

【 0 0 1 2 】

さて、可変ファラデー回転子のファラデー回転角は温度特性を持っており、光可変減衰器、光シャッタ及び光可変等化器の温度に対する安定性を阻害する原因になっている。従って、光可変減衰器、光シャッタ及び光可変等化器の温度に対する安定性を改善するためには可変ファラデー回転子の温度特性を改善する必要がある。

【 0 0 1 3 】

【従来の技術】

図 1 8 は、可変ファラデー回転子の基本構成である。

【0014】

図 1 8 において、3 は可変ファラデー回転子で、イットリウム鉄ガーネットなどの磁気光学結晶よりなるファラデー素子 3-1、可変磁界をファラデー素子 3-1 に印加する電磁石 3-2 及び一定磁界をファラデー素子 3-1 に印加する一対の永久磁石 3-3 によって構成される。

【0015】

ここで、永久磁石 3-3 による磁界の方向を入力光の光軸の方向に一致させ、永久磁石 3-3 による磁界の方向に対して垂直な方向に電磁石 3-2 によって磁界を印加している。そして、永久磁石 3-3 がファラデー素子 3-1 に印加する一定磁界の強度はファラデー素子 3-1 の磁化を飽和させるに足る磁界強度に設定する。

【0016】

永久磁石 3-3 による磁界によってファラデー素子 3-1 の磁化は飽和しているので、永久磁石 3-3 による磁界と電磁石 3-2 による磁界の合成磁界の強度は永久磁石 3-3 による磁界強度と等しく、電磁石 3-2 による磁界強度に応じて合成磁界の方向が変化するため、ファラデー素子の磁化の方向も変化する。従って、ファラデー素子の磁化の光軸方向の成分は電磁石 3-2 による磁界強度に応じて変化し、これによって入力光に与えるファラデー回転角が変化するようになっている。

【0017】

そして、ファラデー素子 3-1 として使用される代表的な磁気光学結晶にはイットリウム鉄ガーネット（所謂 YIG である。以降、これをガーネット単結晶と記載する。）があるが、最近では液相エピタキシャル法によって形成したビスマス置換稀土類鉄ガーネット単結晶膜が用いられるようになっている。これは、ビスマス置換稀土類鉄ガーネット単結晶膜はビスマスの寄与によってガーネット単結晶に比較してファラデー回転係数が大きいという利点による。ただ、ガーネット単結晶やビスマス置換稀土類鉄ガーネット単結晶膜のいずれにしても、ファラ

デー回転角の温度依存性が大きいという欠点がある。

【0018】

この温度特性を改善するために、ファラデー素子のファラデー回転自体の温度特性と、合成磁界による磁化のしやすさの方位による違い（磁気異方性）の温度特性を相殺させてファラデー素子のファラデー回転角の温度特性を抑圧する技術が開発されている。上記技術について以下に説明する。

【0019】

図19は、例えばガーネット単結晶の（111）面を中心としたステレオ投影図である。

【0020】

図19に示すステレオ投影図において、中心は（111）面で、隣合う同心円は互いに10度ずつ異なる面を表わし、隣合う径方向の直線は互いに10度ずつ異なる面を表わしている。従って、ガーネット単結晶の任意の面はステレオ投影図内の点として示すことができる。

【0021】

ところで、ガーネット単結晶は磁気異方性は、（111）方位と対称等価な方位が磁化容易軸であり、（100）方位と対称等価な方位が磁化困難軸である。そして、磁気異方性の大きさは低温ほど大きく、且つ、特定のファラデー回転角において影響が大きい。

【0022】

ガーネット単結晶には、図19の紙面の裏側から表側の方向に永久磁石による飽和磁界を印加するものとして、電磁石によって印加する磁界の方向を変えてファラデー回転の様子を見ると下記のようなになる。

【0023】

先ず、図19において、（111）方位から（-1-12）方位（数字の上にバーを記載するのが正規の記載方法であるが、明細書において上記記載ができないためにバーを“-”符号で表わすことにしている。）に電磁石による磁界を印加する場合には、（111）面から55度に磁化困難軸（001）がある（図では、同心円と径を示す直線を避けて示すために「a」と記載している。）。従っ

て、ガーネット単結晶の磁化の方向は、磁化容易軸の(1 1 1)方位と(- 1 - 1 2)方位に向き易く、磁化困難軸の(0 0 1)方位aには向き難く、この磁気異方性の影響でファラデー回転角に温度特性が生ずる。

【0 0 2 4】

又、(1 1 1)方位から(- 2 1 1)方位に電磁石による磁界を印加する場合には、(1 1 1)方位から70度の方位に磁化容易軸(- 1 1 1) bがある。従って、この方位に磁界を印加する場合にも磁気異方性の影響でファラデー回転角に温度特性が生ずる。

【0 0 2 5】

そして、ファラデー回転子のファラデー回転角の温度特性はファラデー回転角自体の温度特性と磁気異方性の温度特性の和によって与えられる。磁気異方性の影響はファラデー素子の設置の仕方により磁気異方性の温度係数とファラデー素子自体の温度係数の符号を逆にすることができるため、互いにキャンセルすることが可能である。こうして温度特性を改善したファラデー素子が得られている。

【0 0 2 6】

図22は、光可変減衰器の構成と減衰量の制御を説明する図である。

【0 0 2 7】

図22において、10は、入力光信号を光可変減衰器に導く入力光ファイバである。

【0 0 2 8】

9は、該入力光信号を平行光にするコリメート系で、入力光ファイバ10を接着固定するフェルール9-1、入力光ファイバから出射される光を平行光にするコリメート・レンズ9-3、コリメート・レンズ9-3が固着されるレンズ・ホルダ9-2を有して構成される。

【0 0 2 9】

ここで、コリメート・レンズ9-3が固着されるレンズ・ホルダ9-2は、入力光ファイバ10とコリメート・レンズ9-3の距離をコリメート・レンズ9-3の焦点距離に調整した後に、フェルール9-1と溶接固定される。

【 0 0 3 0 】

尚、コリメート系の構造については本発明の本質ではないために概要のみを示すことを了解して戴きたい。

【 0 0 3 1 】

1 1 は、例えばルチルなどの楔型複屈折結晶より成る偏光子で、入力光を偏光方向が互いに垂直な常光 O と異常光 E とに分離する。

【 0 0 3 2 】

3 は、ファラデー回転子で、先にも記載したように、磁気光学結晶よりなるファラデー素子 3 - 1、可変磁界をファラデー素子 3 - 1 に印加する電磁石 3 - 2 及び一定磁界をファラデー素子 3 - 1 に印加する一対の永久磁石 3 - 3 によって構成される。そして、電磁石 3 - 2 による磁界によって光の進行方向の磁界強度を変化させて常光 O と異常光 E に対するファラデー回転角を変化させる。

【 0 0 3 3 】

1 2 は、例えばルチルなどの楔型複屈折結晶より成る検光子で、常光 O を更に常光 O O と異常光 O E に分離し、異常光 E を更に常光 E O と異常光 E E に分離する。

【 0 0 3 4 】

9 a は、検光子 1 2 から出射される光を出力光ファイバに結合するコリメート系で、フェルール 9 - 1 a、コリメート・レンズ 9 - 3 a、コリメート・レンズ 9 - 3 a が固着されるレンズ・ホルダ 9 - 2 a を有して構成される。

【 0 0 3 5 】

1 0 a は、利得等化器の出力光ファイバである。

【 0 0 3 6 】

そして、出力光ファイバ 1 0 a とフェルール 9 - 1 a の関係、コリメート・レンズ 9 - 3 a を固着したレンズ・ホルダ 9 - 2 a とフェルール 9 - 1 の関係はコリメート系 9 と同じである。

【 0 0 3 7 】

例えば、偏光子 1 1 と検光子 1 2 を構成する複屈折結晶の光学軸が互いに垂直になるように配置した場合、図 2 2 の光可変減衰器は下記のように動作する。

【 0 0 3 8 】

入力光ファイバ 1 0 から出射してコリメート・レンズ 9 - 3 で平行光になった入力光は偏光子 1 1 によって常光 O と異常光 E に分離される。ここで、常光 O と異常光 E の偏光方向は互いに直交している。

【 0 0 3 9 】

常光 O と異常光 E はファラデー回転子 3 を通過する際に合成磁界の光の進行方向に平行な磁界強度に応じて偏光方向が回転して出射される。

【 0 0 4 0 】

偏光方向を回転させられた常光 O は検光子 1 2 において更に常光 O O と異常光 O E に分離され、偏光方向を回転させられた異常光 E は検光子 1 2 において更に常光 E O と異常光 E E に分離される。そして、検光子 1 2 から出射される常光 O O と異常光 E E は互いに平行で、コリメート・レンズ 9 - 3 a によって出力光ファイバ 1 0 a のコアに結合されるが、検光子 1 2 から出射される常光 E O と異常光 O E は平行にはならず広がるためにコリメート・レンズ 9 - 3 a を通っても出力光ファイバ 1 0 a のコアには結合されにくい。

【 0 0 4 1 】

ファラデー回転子 3 の電磁石 3 - 2 による磁界強度が 0 の時、ファラデー素子 3 - 1 のファラデー回転角は 9 0 度であり、ファラデー回転子 3 から出射された常光 O は検光子 1 2 からは全て常光 O O として出射され、ファラデー回転子 3 から出射された異常光 E は検光子 1 2 からは全て異常光 E E として出射されるので、この場合には入力光は全て出力光ファイバ 1 0 a のコアに結合されて、理想的には損失が 0 である。

【 0 0 4 2 】

一方、ファラデー回転子 3 の電磁石 3 - 2 による磁界強度が十分に大きい時、ファラデー素子 3 - 1 のファラデー回転角は 0 度に近づき、ファラデー回転子 3 から出射された常光 O は検光子 1 2 からは異常光 O E として出射され、ファラデー回転子 3 から出射された異常光 E は検光子 1 2 からは常光 E O として出射されるので、この場合には入力光は殆ど出力光ファイバ 1 0 a のコアに結合されにくく、損失が最大になる。ファラデー回転角が 0 度と 9 0 度の中間の場合には損失

は中間的な値になる。

【 0 0 4 3 】

上記の如く、ファラデー回転子 3 の電磁石 3 - 2 による磁界の強度によってファラデー素子 3 - 1 によるファラデー回転角が 9 0 度から 0 度の範囲で変化し、ファラデー回転角に応じて出力光ファイバ 1 0 a のコアに結合する光量が変わるために、図 2 2 の構成によって光可変減衰器を実現することができる。

【 0 0 4 4 】

又、光シャッタは光可変減衰器を応用したものである。即ち、図 2 2 の如く光可変減衰器を構成し、電磁石の電流を減衰量が最低になる電流と減衰量が最大になる電流の間でスイッチングすれば、光シャッタを得ることができる。そして、通常は最大減衰量 4 0 d B 程度を得ることができる光可変減衰器を光シャッタとして用いる。

【 0 0 4 5 】

図 2 5 は、光可変等化器の構成と動作を説明する図である。

【 0 0 4 6 】

1 0 は、入力光信号を利得等化器に導く入力光ファイバである。

【 0 0 4 7 】

9 は、該入力光信号を平行光にするコリメート系で、入力光ファイバ 1 0 を接着固定するフェルール 9 - 1、入力光ファイバから出射される光を平行光にするコリメート・レンズ 9 - 3、コリメート・レンズ 9 - 3 が固着されるレンズ・ホルダ 9 - 2 を有して構成される。

【 0 0 4 8 】

1 は、直線偏光、円偏光、楕円偏光などの任意の偏光状態で入射される入力光信号の偏光を分離する偏光分離素子で、代表的な偏光分離素子としては平行ルチル板がある。

【 0 0 4 9 】

偏光分離素子 1 が紙面に平行な結晶軸 X 1 を有する場合、任意の偏光状態の入力光信号が偏光分離素子 1 に入射されると、該結晶軸 X 1 を含む面に対して任意偏光の振動方向が垂直な常光と、結晶軸 X 1 を含む面に対して任意偏光の振動方

向が平行な異常光に分離される。

【0050】

ここで、常光は偏光分離素子1の入射面において屈折することなく直進し、入射面と平行な出射面においても屈折することなく直進する。一方、異常光は偏光分離素子1の入射面で屈折してから直進し、入射面と平行な出射面において再び屈折してから入射光と平行な方向に出射する。従って、任意偏光の光を偏光分離素子1に入射することによって、平行な常光と異常光を得ることができる。

【0051】

2は、偏光分離素子で偏光分離された常光と異常光の振動方向を同一にする偏光面一致制御素子で、所謂1/2波長板である。ここで、偏光面一致制御素子は常光側、異常光側のいずれかに挿入すればよいが、図25では、偏光面一致制御素子を常光側に挿入する例を図示している。

【0052】

さて、所謂波長板中に直交する2つの偏光成分を持つ光が入射されると、該波長板の厚さによって2つの偏光間の相対位相を変化させることができる。このうち、1/2波長板は、2つの偏光間の相対位相を1/2波長変化させるものである。一方の偏光を基準にしてもう一方の偏光の位相が1/2波長シフトするから、1/2波長板を通さない場合に比較して、2つの偏光を合成した光の振動方向は90度回転する。

【0053】

上記作用によって、偏光分離素子1が出射する常光を1/2波長板に通せば、偏光分離素子が出射する異常光と同一の偏光面の光を得ることができ、偏光分離素子1が出射する異常光を1/2波長板に通せば常光と同じ偏光面の光を得ることができる。従って、偏光面一致制御素子2は常光側、異常光側のいずれかに挿入すればよい。

【0054】

3は、偏光分離素子1が出射する異常光と、偏光分離素子1が出射する常光の偏光を該異常光の偏光と一致させられた光の偏光角を可変に制御するファラデー回転子で、磁界によって光の偏光角を回転させる磁気光学結晶を用いたファラデー

一素子 3-1 と、ファラデー素子 3-1 に磁界をかける電磁石 3-2 及びファラデー素子に磁界をかける永久磁石によって構成される。尚、図面の煩雑化をさけるために図 25 においては永久磁石は図示を省略しているが、図 18 に図示しているので参照して戴きたい。

【 0 0 5 5 】

そして、該永久磁石で図 25 のファラデー素子 3-1 中に示されている光の進行方向に平行な飽和磁界 H1 を形成し、電磁石 3-2 で図 18 のファラデー素子 3-1 中に示されている光の進行方向に垂直な磁界 H2 を形成する。

【 0 0 5 6 】

上記状態で電磁石 3-2 によって該永久磁石の磁界 H1 と垂直方向の磁界 H2 をかけると、合成磁界の方向は磁界 H1 と磁界 H2 によって形成される矩形の対角線方向になる。しかし、ファラデー素子 3-1 の飽和磁界強度は磁界の方向にはよらず一定であるので、合成磁界強度は該永久磁石の磁界 H1 の強度に等しくなる。従って、合成磁界の磁界 H1 方向の成分は、該永久磁石で与えられている飽和磁界 H1 より小さくなる。

【 0 0 5 7 】

ところで、ファラデー素子中における偏光の回転角は光の進行方向の磁界強度によって決まる。上記の如く、磁界 H2 をかけることによって実際の合成磁界強度の磁界 H1 方向の成分は飽和磁界 H1 より小さくなるので、偏光の回転角が変化する。

【 0 0 5 8 】

磁界 H2 は、電磁石 3-2 のコイルに流す電流によって制御されるので、偏光の回転角も電磁石 3-2 のコイルに流す電流によって制御される。

【 0 0 5 9 】

4 は、透過率波長特性可変素子で、ガラスなどの透明物質による基板 4-1 と、基板 4-1 上に異なる屈折率を有する誘電体薄膜を多層に形成した多層誘電体薄膜 4-2 によって構成される。

【 0 0 6 0 】

異なる屈折率を有する誘電体薄膜の代表的なものとしては、二酸化シリコン（

SiO_2)、二酸化チタン (TiO_2) がある。因みに、二酸化チタンの方が二酸化チタンより屈折率が高い。

【 0 0 6 1 】

多層誘電体薄膜 4 - 2 に光が入射される場合、その P 偏光成分と S 偏光成分の大きさ、つまり、偏光角によって多層誘電体薄膜における光の透過率が異なる。つまり、偏光角によって光の透過率即ち光に対する利得又は損失が異なる。

【 0 0 6 2 】

ここで、P 偏光と S 偏光について説明をしておく必要がある。

【 0 0 6 3 】

さきの常光と異常光は、平行ルチル板の結晶軸 X 1 を含む平面を基準にして、該平面に垂直な方向に振動する光を常光、該平面に平行な方向に振動する光を異常光と定義したが、P 偏光と S 偏光は多層誘電体薄膜 4 - 2 の面を基準に定義される。

【 0 0 6 4 】

即ち、光の進行方向（光軸）を含むように多層誘電体薄膜 4 - 2 の表面に垂直に立てた面に平行な偏光を P 偏光、光軸を含むように多層誘電体薄膜 4 - 2 の表面に垂直に立てた面に垂直な偏光を S 偏光と定義する。

【 0 0 6 5 】

そして、多層誘電体薄膜 4 - 2 中の透過率は、P 偏光と S 偏光では異なり、且つ、P 偏光の透過率も S 偏光の透過率も広い波長領域においてかなり顕著な波長特性を持っている。つまり、偏光分離素子 1 が出射する光と、偏光面一致制御素子 2 によって偏光分離素子 1 が出射する光と同一偏光にさせられた光の偏光角をファラデー回転子 3 によって可変に制御することによって、多層誘電体薄膜 4 - 2 に対する P 偏光と S 偏光の成分を可変に制御することができ、これによって多層誘電体薄膜 4 - 2 中における光の透過率を可変に制御できるのである。

【 0 0 6 6 】

3 a は、偏光分離素子 1 が出射する異常光と、偏光分離素子が出射する常光の偏光を該異常光の偏光と一致させられた光の偏光角をファラデー回転子 3 が回転したのとは反対に同じ偏光角だけ回転させるファラデー回転子で、ファラデー素

子を用いたファラデー素子 3-1 a 及びファラデー素子 3-1 a に磁界をかける電磁石 3-2 a と、図示を省略している永久磁石によって構成される。

【 0 0 6 7 】

そして、該永久磁石によって図 2 5 のファラデー素子 3-1 中に示されている光の進行方向に平行な磁界 H 1 とは反対方向で、磁界強度は磁界 H 1 と等しい磁界 H 1 r を形成し、電磁石 3-2 によって図 2 5 のファラデー素子 3-1 中に示されている磁界 H 2 とは反対方向で、磁界強度は磁界 H 2 と等しい磁界 H 2 r を形成する。

【 0 0 6 8 】

この状態で電磁石 3-2 a によって磁界 H 1 r と垂直方向の磁界 H 2 r をかけると、合成磁界の方向は磁界 H 1 r と磁界 H 2 r によって形成される矩形の対角線の方法になる。

【 0 0 6 9 】

しかし、ファラデー素子の飽和磁界強度は磁界の方法にはよらず一定であるので、実際の合成磁界強度は該対角線の長さに相当する磁界強度より小さく、磁界 H 1 r の強度に等しくなる。従って、合成磁界の磁界 H 1 r 方法の成分は、永久磁石で与えられている飽和磁界 H 1 r より小さくなる。

【 0 0 7 0 】

ところで、ファラデー素子中における偏光の回転角は光の進行方法の磁界強度によって決まる。上記の如く、磁界 H 2 r をかけることによって実際の合成磁界強度の磁界 H 1 r 方法の成分は飽和磁界 H 1 r より小さくなって偏光の回転角が変化する。

【 0 0 7 1 】

上記によって明らかなように、ファラデー回転子 3 a において磁界 H 2 r をかけることによって生ずる光の進行方法の磁界強度の变化は、ファラデー回転子 3 において磁界 H 2 をかけることによって生ずる光の進行方法の磁界強度の变化とは逆方法に生ずる。

【 0 0 7 2 】

従って、ファラデー回転子 3 a によって、ファラデー回転子 3 において 2 条の

光に与えられた偏光の回転とは反対方向で、同一の回転角だけ偏光を回転でき、ファラデー素子の入射光の偏光状態に戻すことができる。

【 0 0 7 3 】

5 は、偏光面復帰素子で、偏光面一致制御素子 2 と同一のものである。

【 0 0 7 4 】

ただ、図 2 5 の例では、偏光面一致制御素子 2 によって、偏光分離素子 1 が出射する常光の偏光を異常光の偏光に一致させているので、偏光面復帰素子 5 は偏光分離素子が出射する異常光側に挿入して、偏光面復帰素子 5 を通る光と偏光面復帰素子 5 を通らない光の偏光が 9 0 度異なるようにしている。

【 0 0 7 5 】

尚、単純に偏光面復帰素子 5 を通る光と偏光面復帰素子 5 を通らない光の偏光が 9 0 度異なるようにするのであれば、偏光面復帰素子 5 を偏光分離素子 1 が出射する常光側に挿入してもよいが、2 条の光の偏波モード分散を同一にする、即ち、2 条の光に対する光路長を一致させるために、偏光分離素子 1 の出射側で偏光面一致制御素子 2 を挿入しなかった光の方に偏光面復帰素子 5 を挿入することが好ましい。

【 0 0 7 6 】

6 は、透過率波長特性可変素子 4 における P 偏光と S 偏光の位相差を補償する位相差制御素子である。

【 0 0 7 7 】

7 は、偏光合成素子で、偏光分離素子 1 と同一のものである。

【 0 0 7 8 】

偏光合成素子 7 中では、偏光面復帰素子 5 から入射される、偏光合成素子 7 の常光と同じ偏光の光は直進し、偏光面復帰素子 5 を通らずに入射される、偏光合成素子 7 の異常光と同じ偏光の光は屈折してから直進するので、偏光合成素子 7 と偏光分離素子 1 が同一材質で同一寸法であれば、偏光合成素子 7 の常光と同じ偏光の光と偏光合成素子 7 の異常光と同じ偏光の光は、偏光合成素子 7 の入射面と反対側の面において同一の点に到達する。つまり、偏光分離素子 1 で偏光分離された光が偏光合成素子 7 で元の偏光状態に合成される。

【 0 0 7 9 】

ここで、位相差制御素子 6 を適用するのは、透過率波長特性制御素子 4 中では P 偏光と S 偏光との間に無視しえない位相差が生ずることが多く、偏光面復帰素子 5 において 2 条の光の一方の偏光を 90 度回転させただけでは、異常光が混入した常光と常光が購入した異常光が出射されるので、これをそのまま偏光合成すると損失が生ずる上に該損失に波長依存性が生ずるのを避けるためである。尚、位相差制御素子 6 の挿入位置は図 25 の位置には限定されない。

【 0 0 8 0 】

9 a は、偏光合成素子 7 から出射される平行光を出力光ファイバに結合するコリメート系で、フェルール 9-1 a、コリメート・レンズ 9-3 a、コリメート・レンズ 9-3 a が固着されるレンズ・ホルダ 9-2 a を有して構成される。

【 0 0 8 1 】

10 a は、光可変等化器の出力光ファイバである。

【 0 0 8 2 】

即ち、偏光分離素子 1 によって常光と異常光に分離し、偏光面一致制御素子 2 において該常光と該異常光の偏光面を一致させてからファラデー回転子 3 によって偏光を回転させて透過率波長特性可変素子 4 に供給し、透過率波長特性可変素子 4 から出射される 2 条の光の位相差を補償し、光の偏光状態を元に戻した上で、常光と異常光を合成する。

【 0 0 8 3 】

そして、偏光分離素子 1 によって常光と異常光に分離するのは、透過率波長特性可変素子 4 における P 偏光、S 偏光との関係を規定して、透過率波長特性の基準を定めるためである。もし、偏光分離素子 1 を使用しないで、透過率波長特性可変素子 4 に入力光信号を入射すれば、入射光の偏光と透過率波長特性可変素子 4 における P 偏光、S 偏光との関係が不明なために透過率の波長特性の制御が困難になるし、入射光の偏波が変わると透過率の波長特性の制御が不可能になるからである。

【 0 0 8 4 】

又、透過率波長特性可変素子 4 における P 偏光と S 偏光の位相差を補償するの

で、透過率波長特性可変素子 4 の透過率の波長特性は光ファイバ増幅器の利得偏差と逆の特性になる。

【 0 0 8 5 】

しかも、図 2 5 の構成の光可変等化器は、透過率波長特性可変素子 4 によって光可変等化器の透過率を可変に制御できるという特徴を持っている。これにより、光ファイバ増幅器の入力レベルが変動したり、励起レーザ・ダイオードの出力パワーの変動によって光ファイバ増幅器の利得が変動することがあっても、これらをアダプティブに等化する光可変等化器が得られる。

【 0 0 8 6 】

【発明が解決しようとする課題】

ガーネット単結晶やビスマス置換稀土類鉄ガーネット単結晶膜より成るファラデー素子のファラデー回転角の温度特性を改善するための、ファラデー回転自体の温度特性と磁気異方性の温度特性を相殺させてファラデー素子のファラデー回転角の温度特性を抑圧する技術には下記の問題がある。

【 0 0 8 7 】

即ち、ファラデー素子のファラデー回転角自体の温度係数はファラデー回転角に依存せずほぼ一定であるのに対して、磁気異方性の温度特性は特定のファラデー回転角近傍に限定された狭い方位だけで影響を及ぼす。従って、特定のファラデー回転角ではファラデー素子の温度特性を小さくすることが可能であるが、広いファラデー回転角にわたって温度特性を改善することができない。

【 0 0 8 8 】

図 2 0 は、従来のファラデー素子のファラデー回転角の温度特性、図 2 1 は、従来のファラデー素子のファラデー回転角の温度変動である。

【 0 0 8 9 】

ファラデー素子を光可変減衰器や光可変等化器に適用する場合、ファラデー回転角 4 0 度程度以下における温度特性が良好なことが必要であるが、図 2 0 に示す如く、温度範囲 0℃から 6 5℃においてファラデー回転角 4 0 度程度でもファラデー回転角に温度特性があることが見えている。これを図 2 1 で拡大して見ると、ファラデー回転子を構成する電磁石の駆動電流の値が 2 0 m A から 1 0 0 m

Aの範囲で、1.5度程度の温度変動があることが判る。

【0090】

図23は、従来のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度変動である。尚、温度範囲は0℃から65℃である。

【0091】

図23に示す如く、ファラデー回転子を構成する電磁石の駆動電流の値が0mAから100mAの範囲で、3dB程度の変動がある。光レベルの設定に当たって3dBの温度変動は許容できるものではない。

【0092】

図24は、従来のファラデー素子を適用した光シャッタの温度特性である。

【0093】

図24に示す如く、電磁石に流す電流に対する減衰特性が減衰量が大きいところで非常に大きな温度特性を有している。例えば25℃で減衰量40dB以上が得られていても、温度が0℃又は65℃になると減衰量が30dB程度まで低下する。もし0℃又は65℃において初期調整をした場合には温度変動に伴う減衰量の変化はもっと大きくなる。

【0094】

このため、従来のファラデー回転子を適用した光シャッタにおいては減衰量を検出した情報又は温度を検出した情報によってシャット・ダウンの電流値を変動させて、シャット・ダウンの減衰量を一定に保つ必要がある。

【0095】

しかし、図24に示した減衰量のピーク近傍で減衰量のフィード・バック制御を行なおうとすると、該ピークの前後で減衰量のスロープの符号が変わるために制御が困難になる。そこで、予め温度特性を測定した結果をメモリに格納しておき、光シャッタの温度を検出した結果によって適切な電流値を該メモリから読み出すというフィード・フォワード制御を行なって減衰量の温度特性を補償している。

【0096】

いずれにしても、ファラデー素子の温度特性のために、光シャッタに上記の如

き制御回路を付加する必要が生じて、光シャッタのコストを引き上げる原因になっている。

【 0 0 9 7 】

図 2 6 は、従来のファラデー回転子を適用した光可変等化器の温度特性と等化度温度偏差である。

【 0 0 9 8 】

図 2 6 の等化度温度偏差のデータより明らかなように、従来のファラデー回転子を適用した光可変等化器の等化度温度偏差は、入力光の波長 1 5 2 0 n m から 1 5 6 0 n m 強において 0 . 7 d B にも達している。波長多重光通信システムをはじめとする光通信システムにおいて n 段 (n は正の整数) の中継が行なわれるものとし、中継器の特性はランダムであると仮定すると、1 段で 0 . 7 d B の等化度偏差が生ずると n 段では $n^{1/2} \times 0 . 7 d B$ の等化度偏差が生ずる計算になるので、この特性の光可変等化器を波長多重光通信システムに適用することは困難である。

【 0 0 9 9 】

本発明は、かかる問題点に鑑み、ファラデー回転角の温度特性が良好な可変ファラデー回転子と該可変ファラデー回転子を適用する結果温度特性が良好な光可変減衰器、光シャッタ及び光可変等化器を提供することを目的とする。

【 0 1 0 0 】

【課題を解決するための手段】

第一の発明は、ファラデー回転子を構成する磁気光学結晶に印加する第一の磁界によりファラデー回転を行ない、第二の磁界によりファラデー回転角の制御を行ない、該磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸の間に該第二の磁界の方向を設ける可変ファラデー回転子の技術である。

【 0 1 0 1 】

第一の発明によれば、ファラデー回転子を構成する磁気光学結晶に印加する第一の磁界によりファラデー回転を行ない、第二の磁界によりファラデー回転角の制御を行ない、該磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸の間に該第二の磁界の方向を設ける。従って、ファラデー回転角の制御を行なう第二の磁界の方向に

は磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸が存在しないので、該磁気光学結晶のファラデー回転角の温度依存性は磁気異方性の影響を受けなくなり、該磁気光学結晶自体の温度依存性で決まるようになって、広いファラデー回転角にわたって一定となる。このため、該磁気光学結晶のファラデー回転角の温度依存性をキャンセルすることが容易になる。

【 0 1 0 2 】

第二の発明は、第一の発明の可変ファラデー回転子において、定電圧源によって該ファラデー回転子の回転角を制御する上記第二の磁界を生成する電磁石のコイルに電流を供給する可変ファラデー回転子の技術である。

【 0 1 0 3 】

第二の発明によれば、第一の発明の可変ファラデー回転子において、定電圧源によって該ファラデー回転子の回転角を制御する上記第二の磁界を生成する電磁石のコイルに電流を供給するので、該コイルに流れる電流値が該コイルの抵抗の温度係数に従って変化してファラデー回転角を温度変動に伴って変化させる。一方、第一の発明のファラデー回転子に適用する磁気光学結晶はほぼ一定な温度係数に従うファラデー回転角の温度特性を有している。従って、該電磁石のコイルに適用する線材を選択することによって該磁気光学結晶のファラデー回転角の温度特性を抑圧可能で、温度特性が良好なファラデー回転子を得ることができる。

【 0 1 0 4 】

第三の発明は、第二の発明の可変ファラデー回転子を、複屈折結晶から成る偏光子と該複屈折結晶から成る検光子の間に挿入して光を透過させる光可変減衰器である。

【 0 1 0 5 】

第三の発明によれば、該偏光子によって分離された常光Oと異常光Eとが該ファラデー回転子のファラデー回転角に応じて偏光を回転させられて該検光子に入射される。該検光子において該偏光子によって分離された常光Oが更に常光OOと異常光OEに分離され、該検光子において該偏光子によって分離された異常光常光Eが更に常光EOと異常光EEに分離されるが、光ファイバのコアに集光される常光OOと異常光EEの強度が該ファラデー回転子のファラデー回転角に応

じて変化するので、上記構成によって光可変減衰器を構成することができる。その上、該ファラデー回転子の温度特性が改善されているので、光可変減衰器としての温度特性も改善される。

【 0 1 0 6 】

第四の発明は、第三の発明の光可変減衰器を構成する上記電磁石のコイルに供給する電流を、該光可変減衰器の減衰量を最小にする電流値と該光可変減衰器の減衰量を最大にする電流値との間でスイッチする光シャッタの技術である。

【 0 1 0 7 】

第四の発明によれば、上記光可変減衰器において、上記電磁石のコイルに供給する電流を、該光可変減衰器の減衰量を 0 にする電流値と該光可変減衰器の減衰量を最大にする電流値との間でスイッチするので光シャッタを構成することができ、且つ、温度特性が改善されたファラデー回転子を使用しているので、特別な制御をしなくてもシャット・ダウン時の減衰量を安定化することができる。

【 0 1 0 8 】

第五の発明は、偏光分離素子によって入力光を常光と異常光とに分離し、偏光面一致制御素子によって偏光分離された 2 条の光の偏光を一致させ、第一のファラデー回転子によって偏光を一致させた 2 条の光の偏光角に所定の回転を与え、透過率波長特性可変素子によって該回転に対応する透過率の波長特性を与え、第二のファラデー回転子において該第一のファラデー回転子によって与えられた偏光角の回転とは逆で絶対値が等しい偏光角の回転を与え、該透過率波長特性可変素子において生ずる P 偏光と S 偏光の位相差を位相差制御素子によって補償し、偏光面復帰素子によって常光と異常光を合成する光可変等化器において、該第一のファラデー回転子および該第二のファラデー回転子に第二の発明の可変ファラデー回転子を適用する光可変等化器である。

【 0 1 0 9 】

第五の発明によれば、偏光分離素子によって入力光を常光と異常光とに分離し、偏光面一致制御素子によって偏光分離された 2 条の光の偏光を一致させ、第一のファラデー回転子によって偏光を一致させた 2 条の光の偏光角に所定の回転を与え、透過率波長特性可変素子によって該回転に対応する透過率の波長特性を与

え、第二のファラデー回転子において該第一のファラデー回転子によって与えられた偏光角の回転とは逆で絶対値が等しい偏光角の回転を与え、偏光面復帰素子によって常光と異常光を合成するので、光可変等化器を構成することができる。その上、第二の発明の温度特性を改善されたファラデー回転子を適用するので、光可変等化器としての温度特性も改善することができる。

【0 1 1 0】

【発明の実施の形態】

本発明のファラデー回転子は、ファラデー回転子を構成するファラデー素子に印加する磁界の方向を永久磁石による磁界の方向から電磁石による磁界の方向へ回転させる時、磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸を通過せず、且つ、該磁化容易軸及び該磁化困難軸が互いに対称に近くなる面内を回転させるものである。

【0 1 1 1】

図1は、本発明の原理を説明するためのステレオ投影図で、図19と同様にガーネット単結晶の(1 1 1)面を中心としたステレオ投影図である。

【0 1 1 2】

先にも説明した如く、ガーネット単結晶は磁気異方性を有しており、(1 1 1)方位と対称等価な方位が磁化容易軸であり、(1 0 0)方位と対称等価な方位が磁化困難軸である。

【0 1 1 3】

図1において、(1 1 1)方位から(-1 -1 2)方位に電磁石による磁界を印加する場合には、(1 1 1)方位から55度に磁化困難軸(0 0 1) aがある。従って、ガーネット単結晶の磁化は、磁化容易軸の(1 1 1)方位と(-1 -1 2)方位に向き易く、磁化困難軸の(0 0 1)方位 a には向き難く、この磁気異方性の影響でファラデー回転角に温度特性が生じ、又、(1 1 1)方位から(-2 1 1)方位に電磁石による磁界を印加する場合には、(1 1 1)方位から70度の方位に磁化容易軸(-1 1 1) bがある。従って、この方位に磁界を印加する場合にも磁気異方性の影響でファラデー回転角に温度特性が生ずる。

【0 1 1 4】

尚、ガーネット単結晶には図 1 の紙面の裏側から表側の方向に永久磁石による飽和磁界を印加するものとして、電磁石による磁界の方向を変えてファラデー回転の様子を見ている。

【0 1 1 5】

一方、 $(-1\ 0\ 1)$ 方位に電磁石による磁界を印加する場合には、この方位には時間困難軸も磁化容易軸も存在せず、且つ、最も近くにある磁化困難軸 $(0\ 0\ 1)$ 方位 a と磁化容易軸 $(-1\ 1\ 1)$ 方位 b がこの方位に関して対称的に位置している。従って、 $(-1\ 0\ 1)$ 方位に電磁石による磁界を印加する場合には、ガーネット単結晶のファラデー回転角の温度特性に磁気異方性の寄与が殆どなくなる。

【0 1 1 6】

このため、ガーネット単結晶自体のファラデー回転角の温度特性だけによってファラデー回転子の温度特性が決定されるようになり、温度係数は負になる。

【0 1 1 7】

そして、結晶の対称性から $(-1\ -1\ 2)$ 方位から 120° に位置する $(-1\ 2\ -1)$ 方位と $(2\ -1\ -1)$ 方位に電磁石による磁界を印加してもファラデー回転の様子は同じになり、 $(-2\ 1\ 1)$ 方位から 120° に位置する $(1\ 1\ -2)$ 方位と $(1\ -2\ 1)$ 方位に電磁石による磁界を印加してもファラデー回転の様子は同じになる。

【0 1 1 8】

従って、 $(-1\ 0\ 1)$ 方位から 60° に位置する $(-1\ 1\ 0)$ 方位、 $(0\ 1\ -1)$ 方位、 $(1\ 0\ -1)$ 方位、 $(1\ -1\ 0)$ 方位及び $(0\ -1\ 1)$ 方位に電磁石による磁界を印加する場合にも磁気異方性の影響を受けない。そして、これらの方位は全て磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸の方位の中間の方位であるといえることができる。

【0 1 1 9】

図 2 は、本発明によるファラデー素子の例である。図 2 に示す例では、 $(1\ 1\ 1)$ 方位に垂直な面と、 $(-1\ 0\ 1)$ 方位に垂直な面と、 $(1\ -2\ 1)$ 方位に垂直な面で磁気光学結晶を切り出してファラデー素子を形成している。

【 0 1 2 0 】

そして、図 1 における (1 1 1) 面から光を入射して光軸の方向と同じ方向に永久磁石の磁界を印加し、(-1 0 1) 面から電磁石の磁界を印加する例である。

【 0 1 2 1 】

先にも記載した如く、(1 1 1) 方位を中心にした場合には磁気光学結晶を切り出す方位は他にもある。これらは、全て磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸の方位の中間の方位である。

【 0 1 2 2 】

上記の如く永久磁石と電磁石による磁界を設定した場合、低ファラデー回転角領域、即ち、0 度から 4 0 度において、ファラデー素子のファラデー回転角の温度係数のファラデー回転角に対する変化量がファラデー回転角 1 度当たり -0.003 (度/℃) 程度となって、ファラデー回転角の温度係数がファラデー回転角に殆ど依存しないファラデー素子を得ることができた。

【 0 1 2 3 】

即ち、従来の技術では磁気異方性の影響を積極的に利用してファラデー回転子としての温度特性を改善しているのに対して、本発明の特徴は、磁気異方性の影響をなくし、ファラデー素子のファラデー回転の温度特性だけを利用する点にある。これによって、ファラデー回転子の温度特性が広いファラデー回転角にわたって一定となるため、ファラデー素子自体のファラデー回転角の温度依存性を電磁石の電流の温度係数によってキャンセルすることが容易になる。

【 0 1 2 4 】

尚、上記では一定磁界を印加するのが永久磁石で可変磁界を印加するのが電磁石であると決めつけているが、一定磁界を電磁石で印加することも可能であるし、永久磁石の一定磁界を一部遮蔽することによって可変磁界とすることも可能である。従って、一般的には「ファラデー回転子を構成する磁気光学結晶に印加する第一の磁界によりファラデー回転を行ない、第二の磁界によりファラデー回転角の制御を行ない、該磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸の間に該第二の磁界の方向を設ける」というべきであろう。

【 0 1 2 5 】

図 3 は、光可変減衰器に適用するファラデー回転子の電磁石の駆動回路（その 1）である。

【 0 1 2 6 】

図 3 において、3-2 は電磁石で、コイル 3-2 1 及び磁芯 3-2 2 によって構成される。1 3 は定電圧源である。

【 0 1 2 7 】

例えば、コイル 3-2 1 にエナメル被覆の銅線を用いて典型的な設計を行なうと、コイル 3-2 1 の電気抵抗は約 $50\ \Omega$ となり、該電気抵抗の温度係数は $+0.2\ \Omega/^{\circ}\text{C}$ 程度である。

【 0 1 2 8 】

即ち、コイル 3-2 1 の電気抵抗の温度係数が正であるため電磁石の駆動電流の温度係数は負で、電磁石 3-2 による磁界強度の温度係数も負になる。従って、永久磁石と電磁石の合成磁界の光軸方向の磁界強度の温度係数は正になるので駆動回路の抵抗の温度係数によるファラデー回転角の温度係数は正になる。

【 0 1 2 9 】

一方、上記の如く電磁石による磁界を設定した場合、低ファラデー回転角領域、即ち、0 度から 40 度において、ファラデー素子のファラデー回転角の温度係数の温度係数はファラデー回転角 1 度当たり -0.003 （度/ $^{\circ}\text{C}$ ）程度となつて、ファラデー素子自体のファラデー回転角の温度係数は負である。

【 0 1 3 0 】

従って、駆動回路の抵抗の温度係数によるファラデー回転角の正の温度係数によってファラデー素子自体のファラデー回転角の負の温度係数をキャンセルすることができ、ファラデー回転子のファラデー回転角の温度特性を改善できることが期待される。

【 0 1 3 1 】

尚、ファラデー素子のファラデー回転角の温度係数が正であることがあるならば、コイルには負の温度係数を有する抵抗体を適用すればよい。負の温度係数を有する抵抗体は薄膜技術によって容易に得ることができるので、磁芯 3-2 2 に

薄膜抵抗体を形成したセラミック筒をかぶせて、該薄膜抵抗体に定電圧源によって電流を供給すればよい。この技術は以降に述べる駆動回路においても適用することが可能である。

【 0 1 3 2 】

図 4 は、本発明のファラデー回転子のファラデー回転角の温度特性（その 1）で、図 3 の駆動回路を適用した場合の温度依存性である。

【 0 1 3 3 】

図 4 において、縦軸はファラデー回転角で単位は度（d e g）、横軸は定電圧電源の電圧で単位はボルト V である。そして、温度 2 5℃、0℃及び 6 5℃について測定している。

【 0 1 3 4 】

図 4 に示す如く、ファラデー回転角が 4 0 度以下において、このスケールではファラデー回転角の温度特性は殆ど認められないことが判る。

【 0 1 3 5 】

図 5 は、本発明のファラデー回転子のファラデー回転角の温度変動（その 1）であり、温度範囲 0℃から 6 5℃における最大変動値をプロットしたもので、図 3 の駆動回路を適用した場合のデータである。

【 0 1 3 6 】

図 5 において、縦軸はファラデー回転角の温度変動で単位は度（d e g）、横軸は定電圧電源の電圧で単位はボルト V である。

【 0 1 3 7 】

図 5 に示す如く、ファラデー回転角が 4 0 度以下の範囲で温度範囲 0℃から 6 5℃における最大変動値が 0. 5 度以下であることが判る。これを従来のファラデー回転子のファラデー回転角の温度変動値に比較すると大幅に改善されていることが判る。

【 0 1 3 8 】

図 6 は、本発明のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度特性（その 1）で、ファラデー回転子に図 3 の駆動回路を適用した場合の温度特性である。

【 0 1 3 9 】

尚、上記光可変減衰器は、上記ファラデー回転子を、複屈折結晶から成る偏光子と該複屈折結晶から成る検光子の間に挿入して光を透過させる構成である。

【 0 1 4 0 】

図 6 において、縦軸は光可変減衰器の減衰量で単位は d B、横軸はファラデー回転子の電磁石を駆動する定電圧源の電圧で単位はボルトである。そして、温度 2 5℃、0℃及び 6 5℃について測定している。

【 0 1 4 1 】

図 6 に示す如く、1 デイビジョン 5 d B で減衰量を表示する場合には減衰量の温度特性は殆ど認められない。

【 0 1 4 2 】

図 7 は、本発明のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度変動（その 1）であり、温度範囲 0℃から 6 5℃における最大変動値をプロットしたもので、図 3 の駆動回路を適用した場合のデータである。

【 0 1 4 3 】

図 7 において、縦軸は光可変減衰器の減衰量の温度変動で単位は度（d e g）、横軸は定電圧電源の電圧で単位はボルト（V）である。

【 0 1 4 4 】

図 7 に示す如く、温度範囲 0℃から 6 5℃における最大変動値が 0. 8 d B 以下となっている。これを従来のファラデー回転子を適用した光可変減衰器における最大変動値に比較すると大幅に改善されていることが判る。

【 0 1 4 5 】

図 8 は、光可変減衰器に適用するファラデー回転子の電磁石の駆動回路（その 2）である。

【 0 1 4 6 】

図 3 において、3 - 2 は電磁石で、コイル 3 - 2 1 及び磁芯 3 - 2 2 によって構成される。1 3 は定電圧源、1 4 は可変抵抗である。

【 0 1 4 7 】

例えば、ファラデー回転角の温度係数がファラデー回転角 1 度当たり - 0. 0 0 2 5（度/℃）と比較的溫度係数が小さいファラデー素子を適用し、コイル 3

－21の電気抵抗が約50Ω、該電気抵抗の温度係数が+0.2Ω/℃程度の場合に、可変抵抗14にニクロムによる可変抵抗を直列接続して総抵抗を70Ωとしている。

【0148】

ニクロムの抵抗の温度係数は銅に比較すると1/50程度であるので、ニクロム抵抗を直列接続することによって総抵抗の温度係数を小さくすることができ、これによってファラデー素子のファラデー回転角の温度係数と駆動回路の温度係数を合わせることができる。

【0149】

尚、ファラデー素子のファラデー回転角の温度係数が大きいことが判った場合には、可変抵抗として銅より温度係数が大きい抵抗体を使用すればよい。

【0150】

又、駆動回路の総抵抗の温度係数を小さくする場合にも、大きくする場合にも、図3の如くコイルに直列に抵抗体を接続するだけでなく、コイルに並列に抵抗体を接続してもよい。

【0151】

図9は、本発明のファラデー回転子のファラデー回転角の温度特性（その2）で、図8の駆動回路を適用した場合の温度依存性である。

【0152】

図9において、縦軸はファラデー回転角で単位は度（deg）、横軸は定電圧電源の電圧で単位はボルト（V）である。そして、温度25℃、0℃及び65℃について測定している。

【0153】

図9に示す如く、ファラデー回転角が40度以下において、ファラデー回転角の温度特性は殆ど認められないことが判る。

【0154】

図10は、本発明のファラデー回転子のファラデー回転角の温度変動（その2）であり、温度範囲0℃から65℃における最大変動値をプロットしたもので、図8の駆動回路を適用した場合のデータである。

【 0 1 5 5 】

図 1 0 において、縦軸はファラデー回転角の温度変動で単位は度 (d e g) 、横軸は定電圧電源の電圧で単位はボルト (V) である。

【 0 1 5 6 】

図 1 0 に示す如く、ファラデー回転角が 4 0 度以下の範囲で温度範囲 0 ° C から 6 5 ° C における最大変動値がやはり 0 . 5 度以下であることが判る。これを従来のファラデー回転子のファラデー回転角の温度変動値に比較すると大幅に改善されていることが判る。

【 0 1 5 7 】

図 1 1 は、本発明のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度特性 (その 2) で、ファラデー回転子に図 8 の駆動回路を適用した場合の温度特性である。

【 0 1 5 8 】

尚、上記光可変減衰器は、上記ファラデー回転子を、複屈折結晶から成る偏光子と該複屈折結晶から成る検光子の間に挿入して光を透過させる構成である。

【 0 1 5 9 】

図 1 1 において、縦軸は光可変減衰器の減衰量で単位は d B 、横軸はファラデー回転子の電磁石を駆動する定電圧源の電圧で単位はボルト (V) である。そして、温度 2 5 ° C 、 0 ° C 及び 6 5 ° C について測定している。

【 0 1 6 0 】

図 1 1 に示す如く、1 デイビジョン 5 d B で減衰量を表示する場合には減衰量の温度特性は殆ど認められない。

【 0 1 6 1 】

図 1 2 は、本発明のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度変動 (その 2) であり、温度範囲 0 ° C から 6 5 ° C における最大変動値をプロットしたもので、図 8 の駆動回路を適用した場合のデータである。

【 0 1 6 2 】

図 1 2 において、縦軸は光可変減衰器の減衰量の温度変動で単位は度 (d e g) 、横軸は定電圧電源の電圧で単位はボルト (V) である。

【 0 1 6 3 】

図 1 2 に示す如く、温度範囲 0℃ から 6 5℃ における最大変動値が 0. 6 d B 以下となっている。これを従来のファラデー回転子を適用した光可変減衰器における最大変動値に比較すると大幅に改善されていることが判る。

【 0 1 6 4 】

図 1 3 は、本発明のファラデー回転子を適用した光シャッタの温度特性で、ファラデー回転子の電磁石の駆動回路には基本的に図 3 の構成を適用しており、減衰量が最小となる電圧と減衰量が最大になる電圧を切り替えるようにしている。

【 0 1 6 5 】

図 1 3 において、縦軸は光シャッタの減衰量で単位は d B、横軸はファラデー回転子の電磁石の駆動回路の定電圧源の電圧で単位はボルト (V) である。

【 0 1 6 6 】

図 1 3 の特性を図 2 4 の特性と比較して見れば明らかなように、温度特性は大幅に改善されており、減衰量が最小となる電圧を 0 ボルト、減衰量が最大になる電圧を 4. 7 ボルトに設定して電圧を切り替えれば、温度範囲 0℃ から 6 5℃ にわたってシャット・ダウン減衰量 4 0 d B を安定に得ることができる光シャッタを実現することができる。このため、従来の光シャッタの如く、シャット・ダウンの電流値を減衰量を検出した情報又は温度を検出した情報によって変動させて、シャット・ダウンの減衰量を一定に保つ制御を行なう必要性がなくなり、光シャッタのコストを低下することができる。

【 0 1 6 7 】

図 1 4 は、光可変等化器に適用するファラデー回転子の電磁石の駆動回路（その 1）である。

【 0 1 6 8 】

図 3 において、3-2 は電磁石で、コイル 3-2 1 及び磁芯 3-2 2 によって構成され、3-2 a も電磁石で、コイル 3-2 1 a 及び磁芯 3-2 2 a によって構成される。1 3 は定電圧源である。

【 0 1 6 9 】

ここで注意を要するのは、図 2 5 の光可変等化器において第一のファラデー回

転子 3 と第二のファラデー回転子 3 a において透過光に与える回転角は絶対値が同じで逆方向でなければならないので、コイル 3 - 2 1 とコイル 3 - 2 1 a に流れる電流の向きを逆にしていることである。

【 0 1 7 0 】

尚、図 1 4 の構成によるファラデー回転子のファラデー回転角の温度特性の改善の原理は図 3 の構成と同じであるので詳細な説明は割愛する。

【 0 1 7 1 】

図 1 5 は、光可変等化器に適用するファラデー回転子の電磁石の駆動回路（その 2）である。

【 0 1 7 2 】

図 1 5 において、3 - 2 は電磁石で、コイル 3 - 2 1 及び磁芯 3 - 2 2 によって構成され、3 - 2 a も電磁石で、コイル 3 - 2 1 a 及び磁芯 3 - 2 2 a によって構成される。1 3 は定電圧源、1 4 及び 1 4 a は可変抵抗である。

【 0 1 7 3 】

ここで注意を要するのは、図 2 5 の光可変等化器において第一のファラデー回転子 3 と第二のファラデー回転子 3 a において透過光に与える回転角は絶対値が同じで逆方向でなければならないので、コイル 3 - 2 1 とコイル 3 - 2 1 a に流れる電流の向きを逆にしていることである。

【 0 1 7 4 】

尚、図 1 5 の構成によるファラデー回転子のファラデー回転角の温度特性の改善の原理は図 8 の構成と同じであるので詳細な説明は割愛する。

【 0 1 7 5 】

図 1 6 は、本発明のファラデー回転子を適用した光可変等化器の透過強度特性で、図 1 4 の構成による電磁石の駆動回路を用いた場合のデータである。

【 0 1 7 6 】

尚、上記光可変等化器は、偏光分離素子によって入力光を常光と異常光とに分離し、偏光面一致制御素子によって偏光分離された 2 条の光の偏光を一致させ、第一のファラデー回転子によって偏光を一致させた 2 条の光の偏光角に所定のファラデー回転を与え、透過率波長特性可変素子によって該ファラデー回転に対応

する透過率の波長特性を与え、第二のファラデー回転子において該第一のファラデー回転子によって与えられた偏光角のファラデー回転とは逆で絶対値が等しい偏光角のファラデー回転を与え、該透過率波長特性可変素子において生ずるP偏光とS偏光の位相差を位相差制御素子によって補償し、偏光面復帰素子によって常光と異常光を合成する光可変等化器において、該第一のファラデー回転子および該第二のファラデー回転子に請求項2記載のファラデー回転子を適用したものである。

【0177】

図16において、縦軸は光の透過強度で単位はdB、横軸は光の波長で単位はnm、パラメタは電磁石の定電圧源の電圧で単位はボルト(V)である。

【0178】

図16に示す如く、定電圧源の電圧を0ボルトから4ボルトまで変化させると、波長1530nmから1560nm強において0dBから約10dBの範囲で透過強度を可変にすることができる。

【0179】

図17は、本発明のファラデー回転子を適用した光可変等化器の温度特性と等化度温度偏差で、図14の構成による電磁石の駆動回路を用いた場合のデータである。

【0180】

図17において、左側の縦軸は光の等化強度で単位はdB、右側の縦軸は等化度温度偏差で単位はdB、横軸は光の波長で単位はnmである。そして、透過強度のデータは図16における電圧4ボルトに対応する透過強度で、温度範囲0℃、25℃及び65℃のデータが重なっている。又、等化度温度偏差は電圧4ボルトに対応する透過強度の温度範囲0℃から65℃における透過強度の変動値を求めたものである。

【0181】

図17に示す如く、本発明のファラデー回転子を適用した光可変等化器の等化度温度偏差は0.1dB以下であり、従来の光可変等化器に比較して温度特性が大幅に改善されていることが判る。

【 0 1 8 2 】

即ち、本発明により、ファラデー回転角の温度特性が良好なファラデー素子と、該ファラデー素子を適用することにより温度特性が良好な光可変減衰器、光シャッタ及び光可変等化器を得ることができた。

【 0 1 8 3 】

(付記 1) ファラデー回転子を構成する磁気光学結晶に印加する第一の磁界によりファラデー回転を行ない、

第二の磁界によりファラデー回転角の制御を行ない、該磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸の間に該第二の磁界の方向を設けることを特徴とする可変ファラデー回転子。

【 0 1 8 4 】

(付記 2) 付記 1 記載の可変ファラデー回転子において、

定電圧源によって該ファラデー回転子を構成する電磁石のコイルに電流を供給することを特徴とする可変ファラデー回転子。

【 0 1 8 5 】

(付記 3) 付記 2 記載の可変ファラデー回転子を、

複屈折結晶から成る偏光子と該複屈折結晶から成る検光子の間に挿入して光を透過させることを特徴とする光可変減衰器。

【 0 1 8 6 】

(付記 4) 付記 3 記載の光可変減衰器において、

上記電磁石のコイルに供給する電流を、該光可変減衰器の減衰量を最小にする電流値と該光可変減衰器の減衰量を最大にする電流値との間でスイッチすることを特徴とする光シャッタ。

【 0 1 8 7 】

(付記 5) 偏光分離素子によって入力光を常光と異常光とに分離し、

偏光面一致制御素子によって偏光分離された 2 条の光の偏光を一致させ、

第一のファラデー回転子によって偏光を一致させた 2 条の光の偏光角に所定の回転を与え、

透過率波長特性可変素子によって該回転に対応する透過率の波長特性を与え、
第二のファラデー回転子において該第一のファラデー回転子によって与えられた偏光角の回転とは逆で絶対値が等しい偏光角の回転を与え、

透過率波長特性可変素子において生ずる P 偏光と S 偏光の位相差を位相差制御素子によって補償し、

偏光面復帰素子によって常光と異常光を合成する
光可変等化器において、

該第一のファラデー回転子および該第二のファラデー回転子に付記 2 記載の可変ファラデー回転子を適用することを特徴とする光可変等化器。

【0 1 8 8】

(付記 6) 付記 2 記載の可変ファラデー回転子において、上記コイルの線材を銅又は銅化合物のいずれかにすることを特徴とする可変ファラデー回転子。

【0 1 8 9】

(付記 7) 付記 2 記載の可変ファラデー回転子において、
上記コイルに直列に該コイルの線材とは異なる材料の抵抗体を接続することを特徴とする可変ファラデー回転子。

【0 1 9 0】

(付記 8) 付記 7 記載の可変ファラデー回転子において、
上記抵抗体はニクロムであることを特徴とする可変ファラデー回転子。

【0 1 9 1】

【発明の効果】

以上詳述した如く、本発明によれば、ファラデー回転角の温度特性が良好な可変ファラデー回転子と該可変ファラデー回転子を適用する結果温度特性が良好な光可変減衰器、光シャッタ及び光可変等化器を実現することができる。

【0 1 9 2】

即ち、第一の発明によれば、ファラデー回転子を構成する磁気光学結晶に印加する第一の磁界によりファラデー回転を行ない、第二の磁界によりファラデー回転角の制御を行ない、該磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸の間に該第二の磁界の方向を設ける。従って、ファラデー回転角の制御を行なう第二の磁界の

方向には磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸が存在しないので、該磁気光学結晶のファラデー回転角の温度依存性は磁気異方性の影響を受けなくなり、該磁気光学結晶自体の温度依存性で決まるようになって、広いファラデー回転角にわたって一定となる。このため、該磁気光学結晶のファラデー回転角の温度依存性をキャンセルすることが容易になる。

【 0 1 9 3 】

又、第二の発明によれば、第一の発明のファラデー回転子において、定電圧源によって該ファラデー回転子の回転角を制御する上記第二の磁界を生成する電磁石のコイルに電流を供給するので、該コイルに流れる電流値が該コイルの抵抗の温度係数に従って変化してファラデー回転角を温度変動に伴って変化させる。一方、第一の発明のファラデー回転子に適用する磁気光学結晶はほぼ一定な温度係数に従うファラデー回転角の温度特性を有している。従って、該電磁石のコイルに適用する線材を選択することによって該磁気光学結晶のファラデー回転角の温度特性を抑圧可能で、温度特性が良好なファラデー回転子を得ることができる。第三の発明によれば、該偏光子によって分離された常光Oと異常光Eとが該ファラデー回転子のファラデー回転角に応じて偏光を回転させられて該検光子に入射される。該検光子において該偏光子によって分離された常光Oが更に常光OOと異常光OEに分離され、該検光子において該偏光子によって分離された異常光常光Eが更に常光EOと異常光EEに分離されるが、光ファイバのコアに集光される常光OOと異常光EEの強度が該ファラデー回転子のファラデー回転角に応じて変化するので、上記構成によって光可変減衰器を構成することができる。その上、該ファラデー回転子の温度特性が改善されているので、光可変減衰器としての温度特性も改善される。

【 0 1 9 4 】

又、第四の発明によれば、上記光可変減衰器において、上記電磁石のコイルに供給する電流を、該光可変減衰器の減衰量を0にする電流値と該光可変減衰器の減衰量を最大にする電流値との間でスイッチするので光シャッタを構成することができ、且つ、温度特性が改善されたファラデー回転子を使用しているので、特別な制御をしなくてもシャット・ダウン時の減衰量を安定化することができる。

【 0 1 9 5 】

更に、第五の発明によれば、偏光分離素子によって入力光を常光と異常光とに分離し、偏光面一致制御素子によって偏光分離された2条の光の偏光を一致させ、第一のファラデー回転子によって偏光を一致させた2条の光の偏光角に所定の回転を与え、透過率波長特性可変素子によって該回転に対応する透過率の波長特性を与え、第二のファラデー回転子において該第一のファラデー回転子によって与えられた偏光角の回転とは逆で絶対値が等しい偏光角の回転を与え、偏光面復帰素子によって常光と異常光を合成するので、光可変等化器を構成することができる。その上、第二の発明の温度特性を改善されたファラデー回転子を適用するので、光可変等化器としての温度特性も改善することができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図1】 本発明の原理を説明するためのステレオ投影図。
- 【図2】 本発明によるファラデー回転子の例。
- 【図3】 光可変減衰器に適用するファラデー回転子の電磁石の駆動回路（その1）。
- 【図4】 本発明のファラデー回転子のファラデー回転角の温度特性（その1）。
- 【図5】 本発明のファラデー回転子のファラデー回転角の温度変動（その1）。
- 【図6】 本発明のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度特性（その1）。
- 【図7】 本発明のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度変動（その1）。
- 【図8】 光可変減衰器に適用するファラデー回転子の電磁石の駆動回路（その2）。
- 【図9】 本発明のファラデー回転子のファラデー回転角の温度特性（その2）。
- 【図10】 本発明のファラデー回転子のファラデー回転角の温度変動（その2）。

【図 1 1】 本発明のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度特性（その 2）。

【図 1 2】 本発明のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度変動（その 2）。

【図 1 3】 本発明のファラデー回転子を適用した光シャッタの温度特性。

【図 1 4】 光可変等化器に適用するファラデー回転子の電磁石の駆動回路（その 1）。

【図 1 5】 光可変等化器に適用するファラデー回転子の電磁石の駆動回路（その 2）。

【図 1 6】 本発明のファラデー回転子を適用した光可変等化器の透過強度特性。

【図 1 7】 本発明のファラデー回転子を適用した光可変等化器の温度特性と等価度温度偏差。

【図 1 8】 可変ファラデー回転子の基本構成。

【図 1 9】 ガーネット単結晶の（1 1 1）面を中心としたステレオ投影図。

【図 2 0】 従来のファラデー回転子のファラデー回転角の温度特性。

【図 2 1】 従来のファラデー回転子のファラデー回転角の温度変動。

【図 2 2】 光可変減衰器の構成と減衰量の制御を説明する図。

【図 2 3】 従来のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度変動。

【図 2 4】 従来の光シャッタの温度特性。

【図 2 5】 光可変等化器の構成と動作を説明する図。

【図 2 6】 従来のファラデー回転子を適用した光可変等化器の温度特性と等化度温度偏差。

【符号の説明】

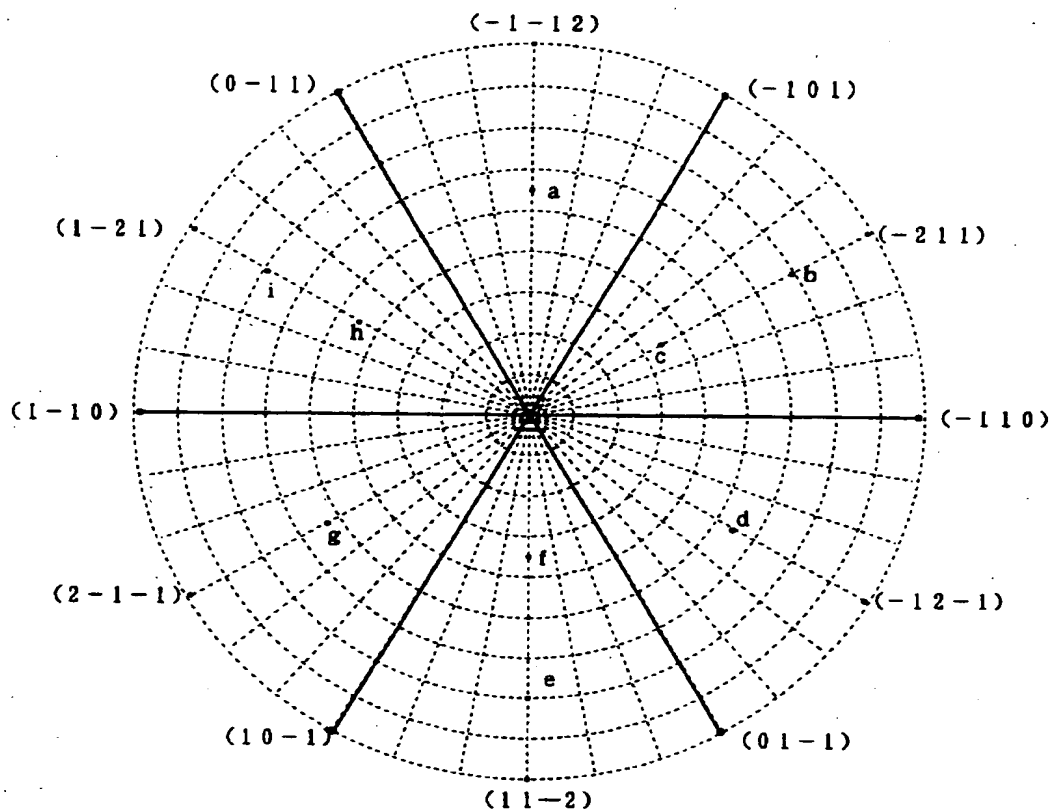
- 1 偏光分離素子
- 2 偏光面一致制御素子
- 3 第一のファラデー回転子
- 3-1 ファラデー素子

- 3-2 電磁石
- 3-3 永久磁石
- 3a 第二のファラデー回転子
- 3-1a ファラデー素子
- 3-2a 電磁石
- 3-3a 永久磁石
- 4 透過率波長特性可変素子
- 5 偏光面復帰素子
- 6 位相差制御素子
- 7 偏光合成素子
- 9 コリメート系
- 9-1 フェルール
- 9-2 レンズ・ホルダ
- 9-3 コリメート・レンズ
- 9a コリメート系
- 9-1a フェルール
- 9-2a レンズ・ホルダ
- 9-3a コリメート・レンズ
- 10 入力光ファイバ
- 10a 出力光ファイバ
- 11 偏光子
- 12 検光子
- 13 定電圧源
- 14 可変抵抗
- 14a 可変抵抗

【書類名】 図面

【図 1】

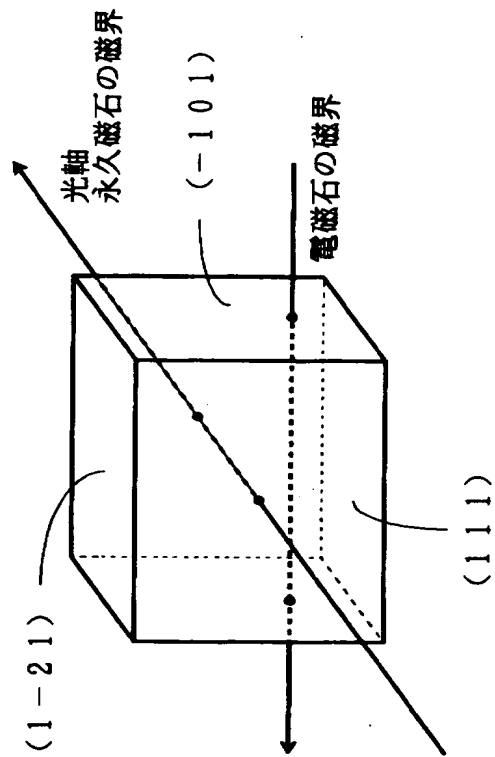
本発明の原理を説明するためのステレオ投影図



a: (0 0 1)	b: (-1 1 1)	c: (0 1 1)
d: (0 1 0)	e: (1 1 -1)	f: (1 1 0)
g: (1 0 0)	h: (1 0 1)	i: (-1 1)
中心: (1 1 1)		

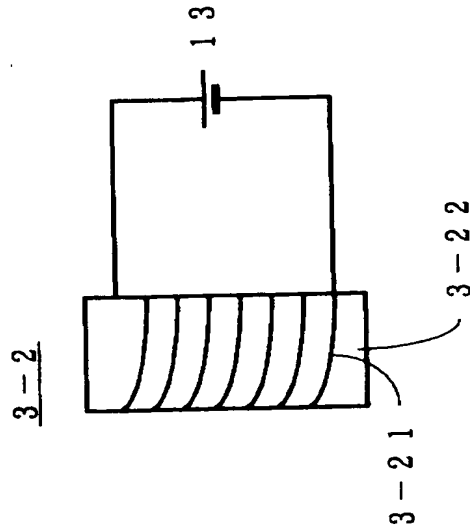
【図 2】

本発明によるファラデー回転子の例



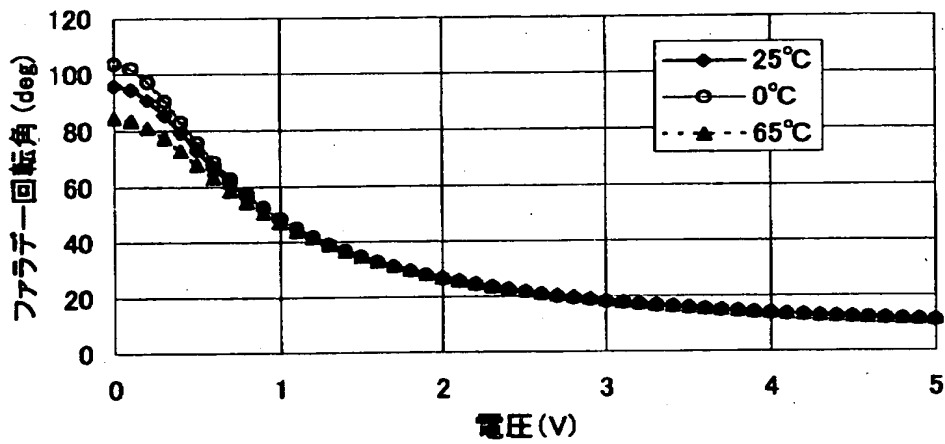
【図 3】

光可変減衰器に適用するファラデー回転子の
電磁石の駆動回路 (その 1)

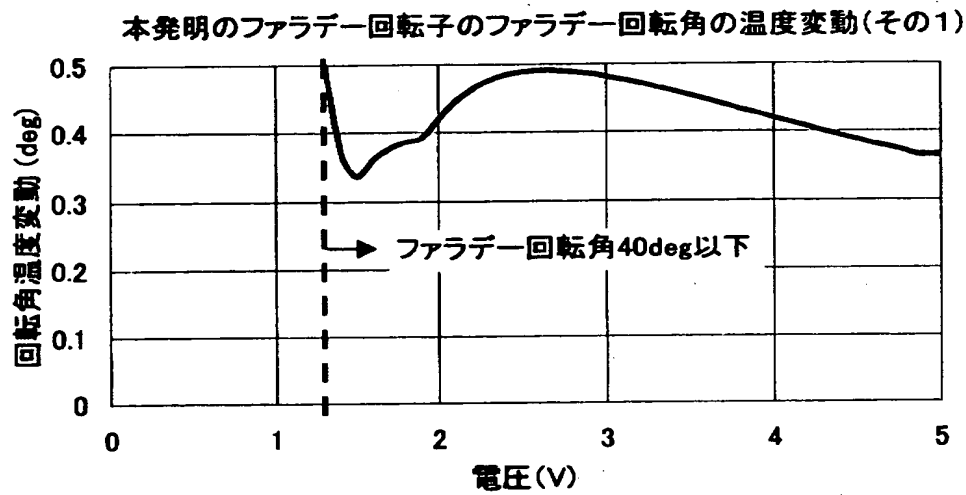


【図 4】

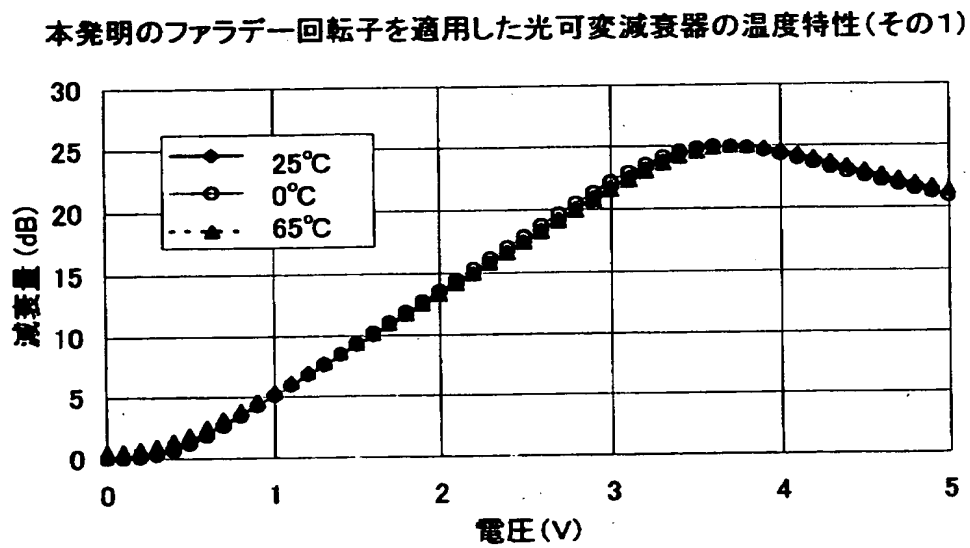
本発明のファラデー回転子のファラデー回転角の温度特性 (その 1)



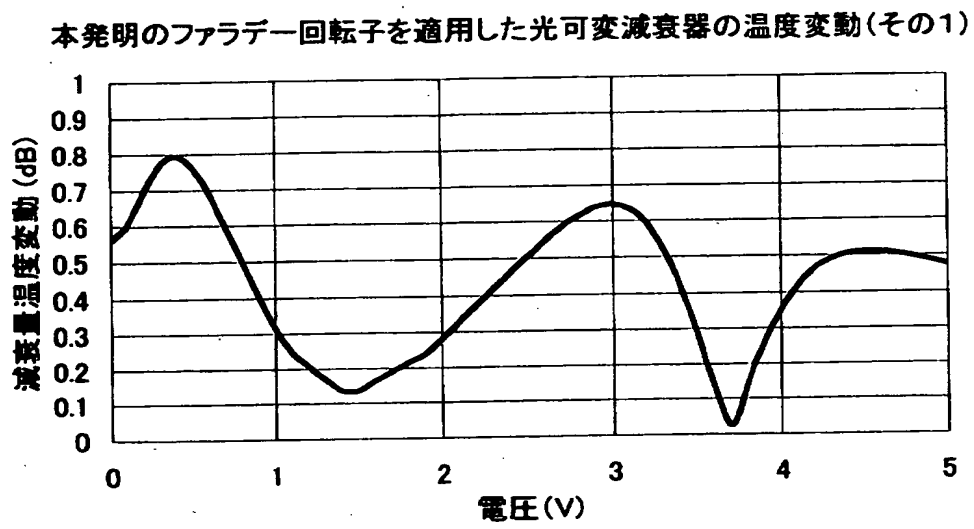
【図 5】



【図 6】

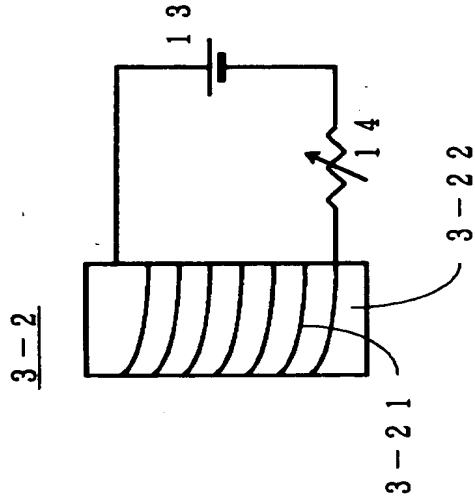


【図 7】



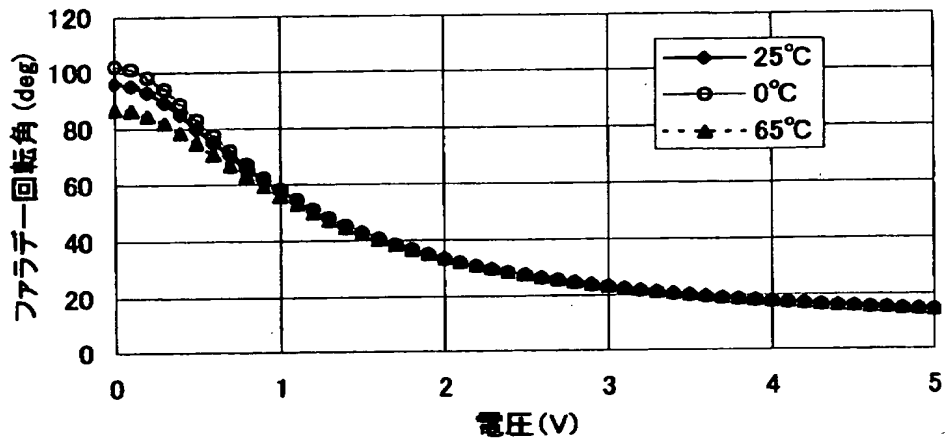
【図 8】

光可変減衰器に適用するフアラデー回転子の
電磁石の駆動回路(その2)



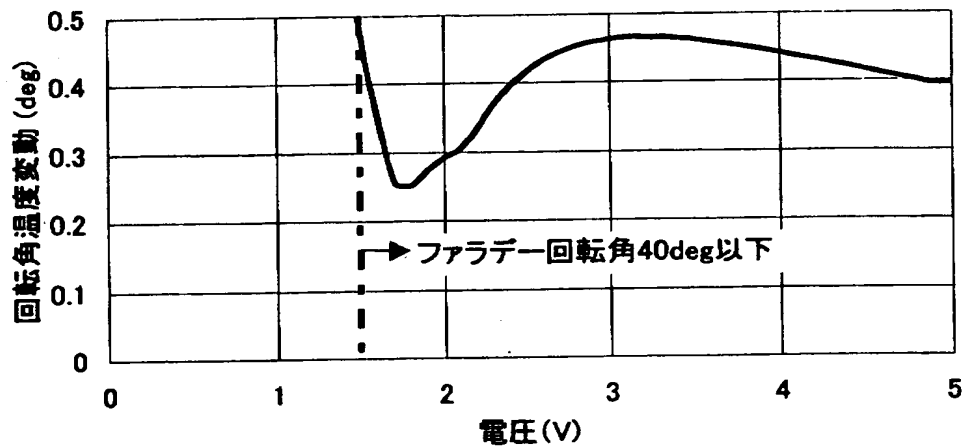
【図 9】

本発明のファラデー回転子のファラデー回転角の温度特性(その2)



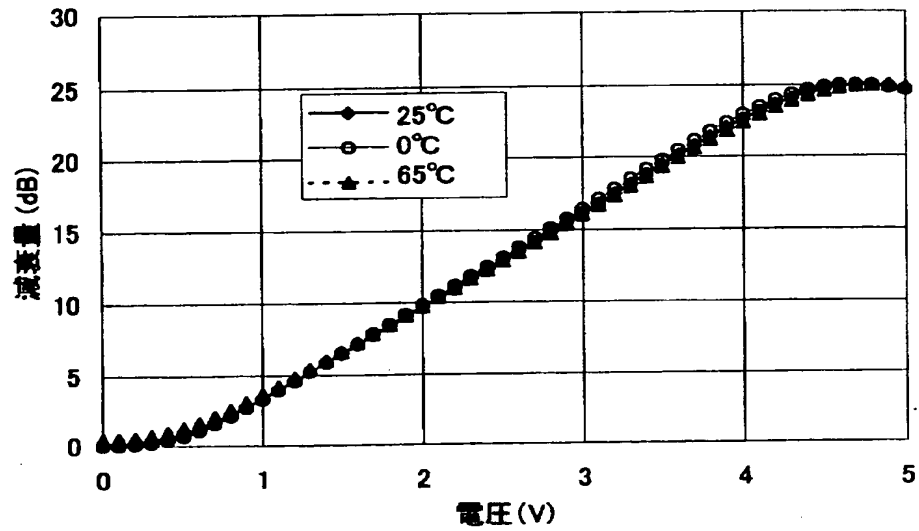
【図 1 0】

本発明のファラデー回転子のファラデー回転角の温度変動(その2)



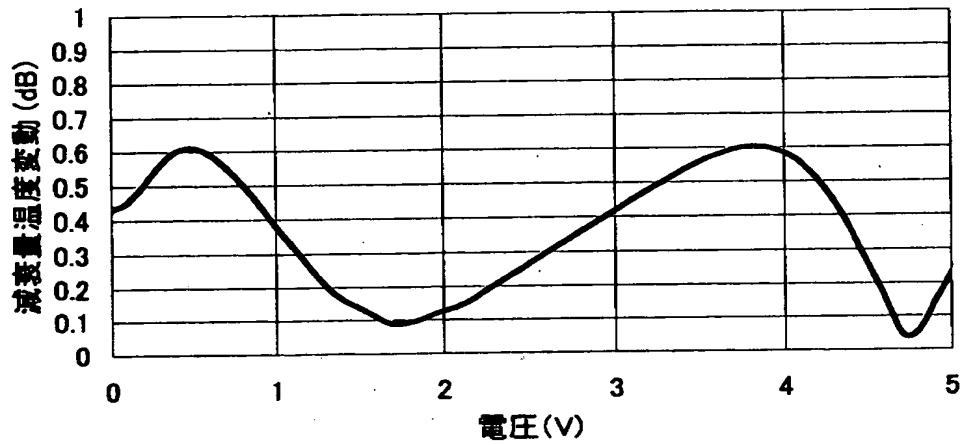
【図 1 1】

本発明のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度特性(その2)

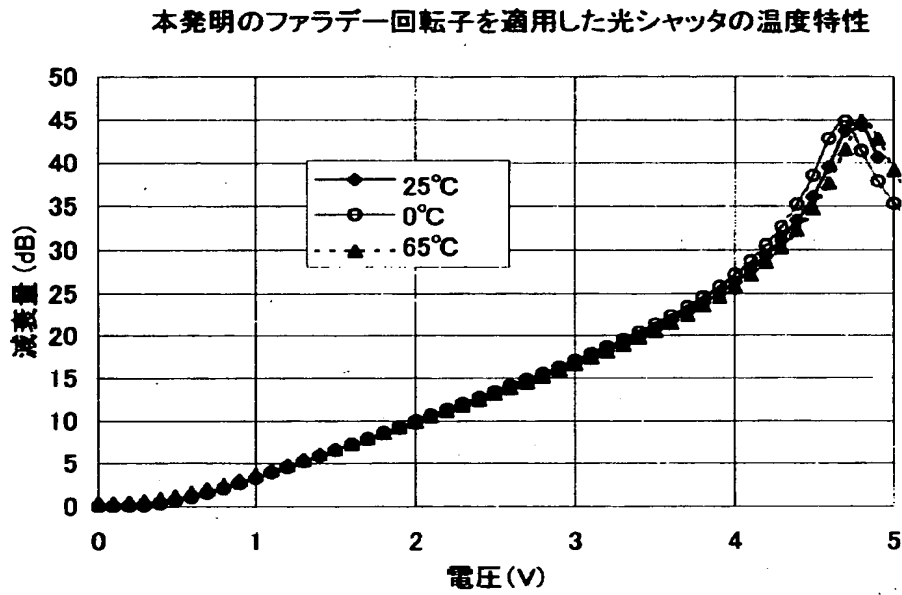


【図 1 2】

本発明のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度変動(その2)

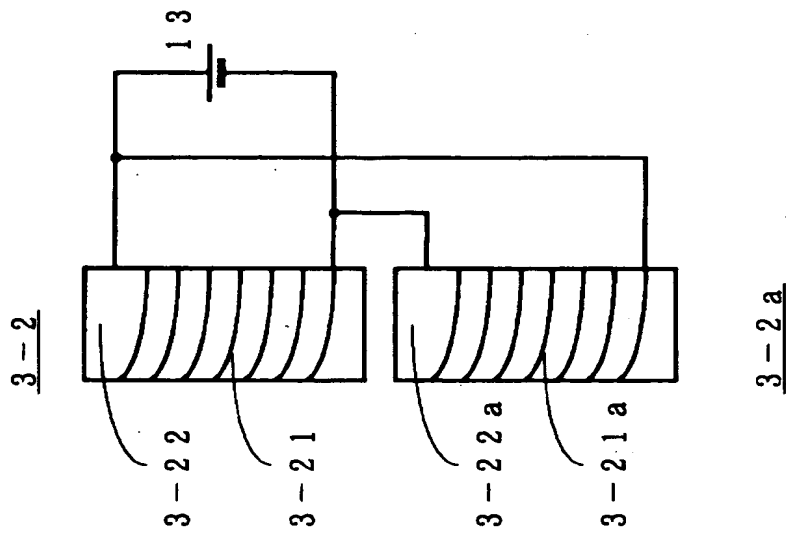


【図 1 3】



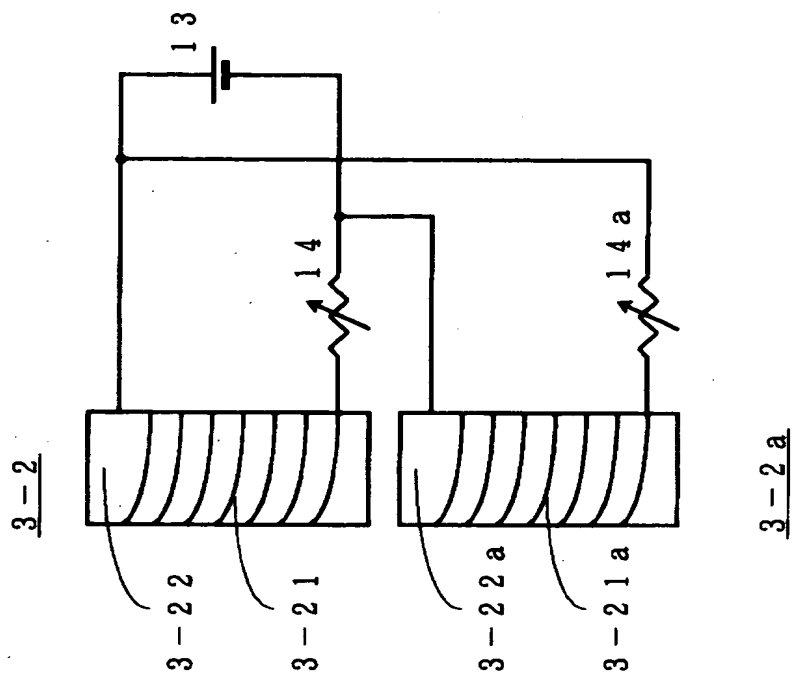
【図 1 4】

光可変等化器に適用するファラデー回転子の
電磁石の駆動回路 (その 1)

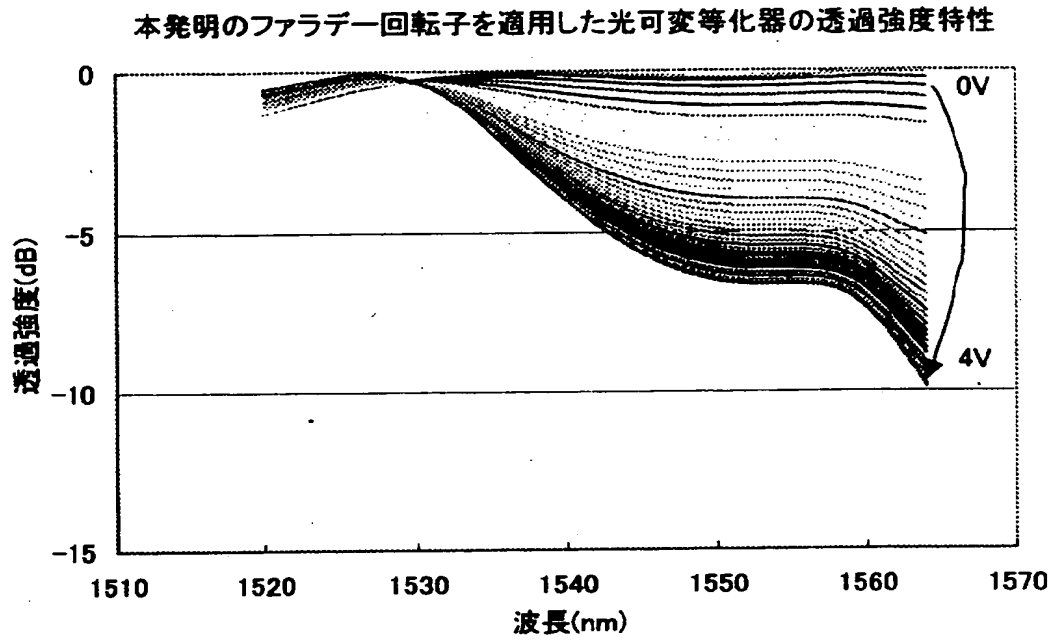


【図 1 5】

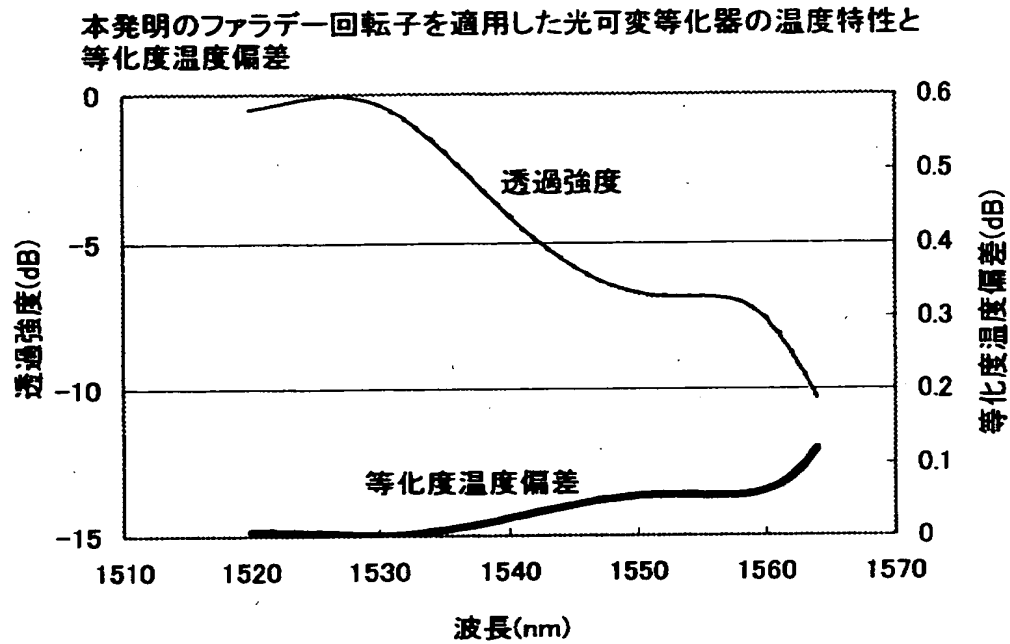
光可変等化器に適用するファラデー回転子の
電磁石の駆動回路（その2）



【図 1 6】

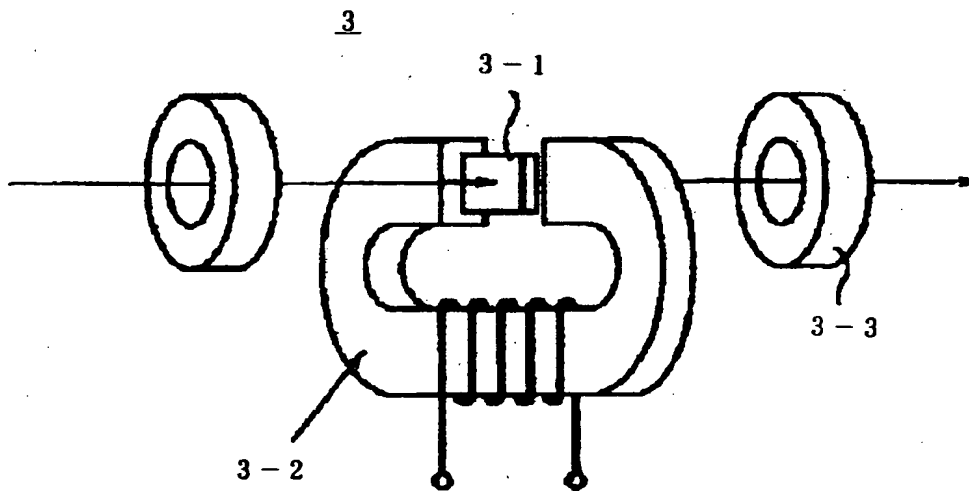


【図 1 7】



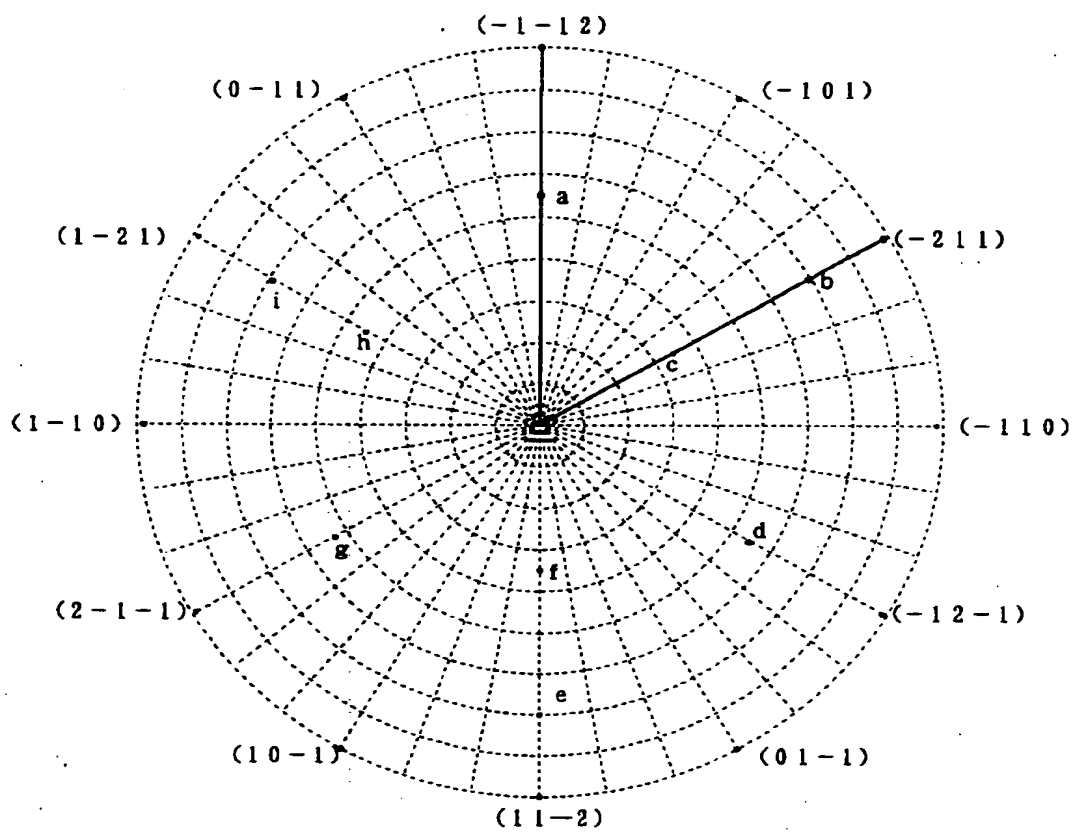
【図 1 8】

可変ファラデー回転子の基本構成



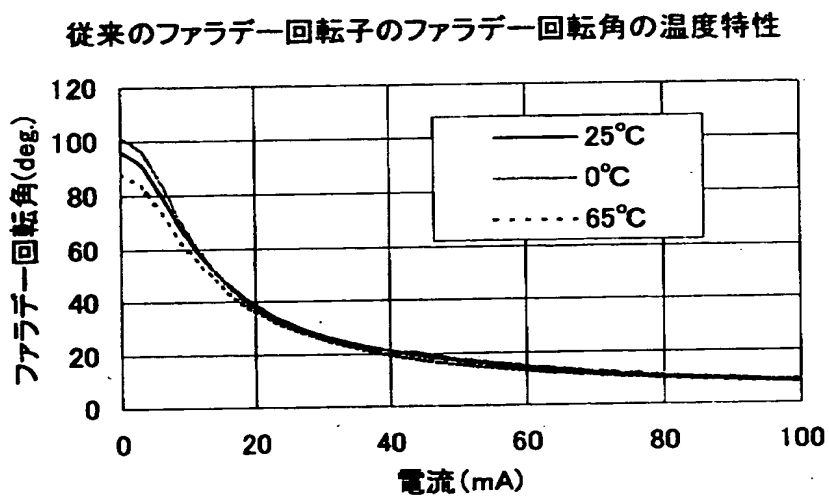
【図 19】

ガーネット単結晶の(111)面を中心としたステレオ投影図

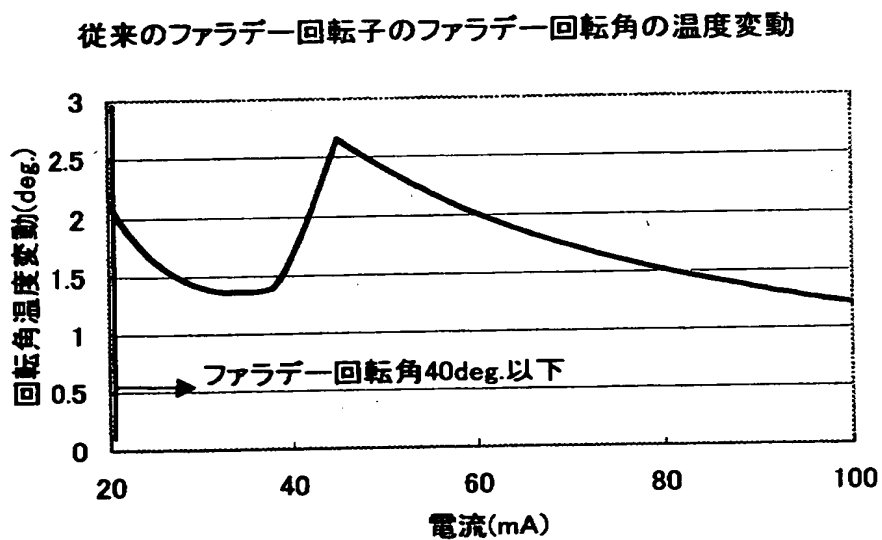


a: (001)	b: (-111)	c: (011)
d: (010)	e: (11-1)	f: (110)
g: (100)	h: (101)	i: (-11)
中心: (111)		

【図 2 0】

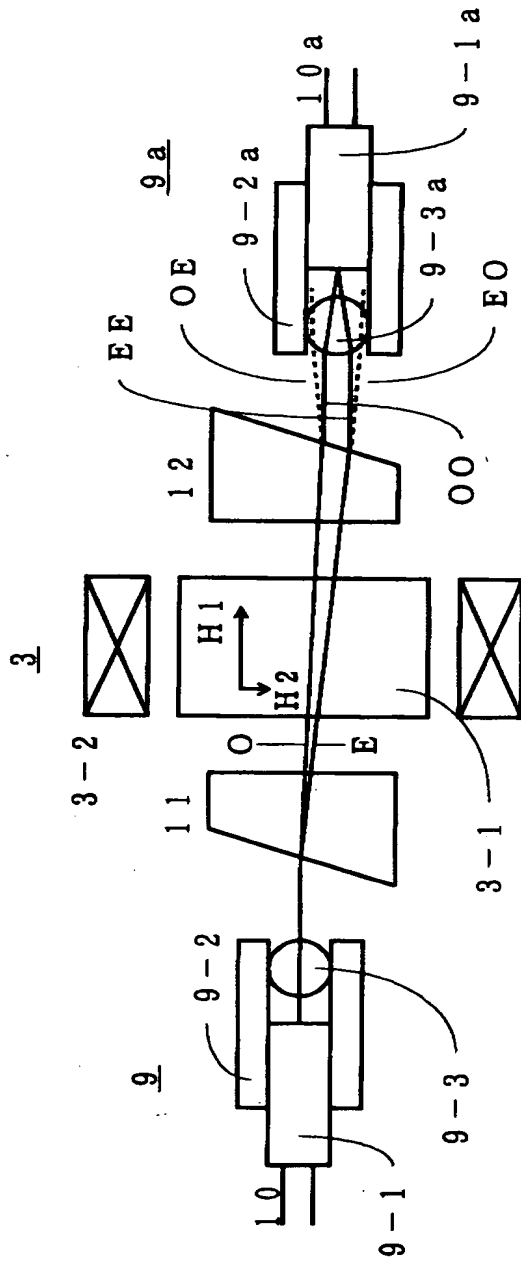


【図 2 1】



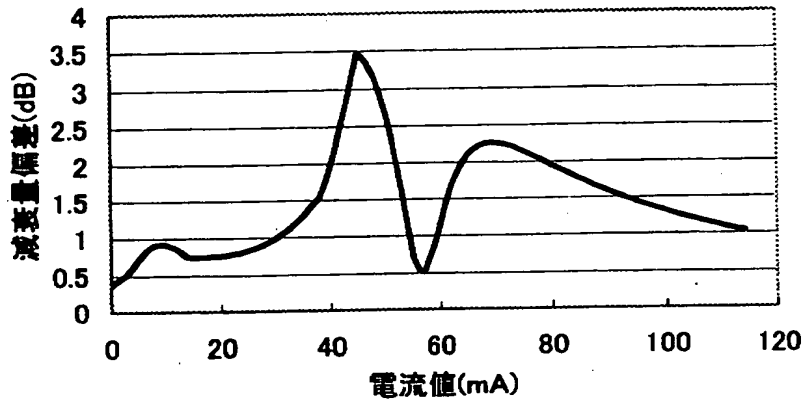
【図 22】

光可変減衰器の構成と減衰量の制御を説明する図



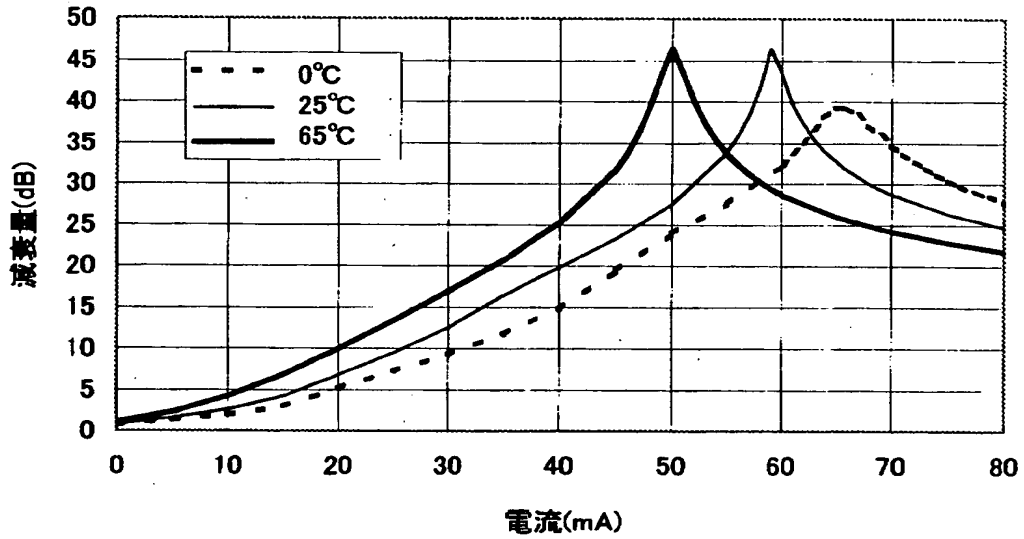
【図 2 3】

従来のファラデー回転子を適用した光可変減衰器の温度変動

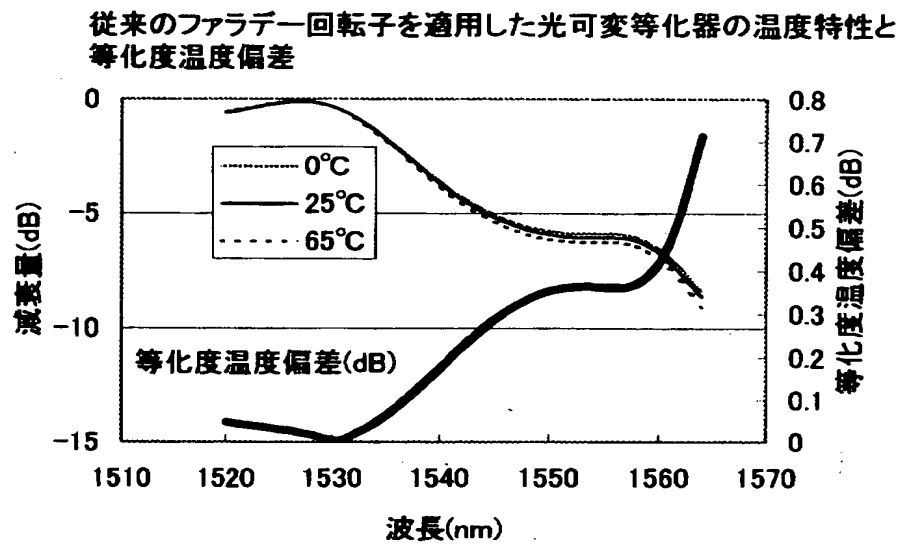


【図 2 4】

従来の光シャッタの温度特性



【図 2 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ファラデー回転角の温度特性が良好な可変ファラデー回転子と該可変ファラデー回転子を適用する結果温度特性が良好な光可変減衰器、光シャッタ及び光可変等化器を提供する。

【解決手段】 ファラデー回転子は、ファラデー回転子を構成する磁気光学結晶に印加する第一の磁界によりファラデー回転を行ない、第二の磁界によりファラデー回転角の制御を行ない、該磁気光学結晶の磁化容易軸及び磁化困難軸の間に該第二の磁界の方向を設けて構成する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日	1996年 3月26日
[変更理由]	住所変更
住 所	神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名	富士通株式会社